TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 189-Fevereiro-1949

CIMENTO

SECIL

Fabricado pelos mais modernos processos e preferido para todos os trabalhos de responsabilidade.
Sacos de papel ou de juta com 50 Kg.
Barricas de 180 Kg.

S E C I L

COMPANHIA GERAL DE CAL E CIMENTO
RUA DO COMÉRCIO, 56, 3.º
LISBOA

Oficina e Laboratórios
do
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

As oficinas pedagógicas do Instituto Superior Técnico, de CARPINTARIA DE MOLDES, de INSTRUMENTOS DE PRECISÃO e de ELECTROTECNICA, fornecem todo o género de material escolar e de demonstração para o ensino técnico. Nos laboratórios de QUÍMICA-ANALÍTICA, FÍSICA INDUSTRIAL E DE MINERALOGIA executam-se análises para o público.

Para quaisquer informações, dirigir-se ao secretário da comissão executiva

Cimento «Liz» hidrofugado «N»

PRÓPRIO PARA
IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS
REBOCOS, FUNDAÇÕES, PAREDES, ETC.

Substitue com vantagem de ordem técnica e económica todos os impermeabilizadores conhecidos.

Em sacos de papel de 50 quilos

Peçam instruções para o seu emprêgo

Sede: Rua do Cais de Santarém, 64, 1.º — LISBOA
Filial: Rua de Santo António, 190-A, 1.º — PORTO

Agentes em todo o País

NÚMERO
189
Fevereiro — 1949

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS
ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Redacção e Administração: AV. ROVISCO PAIS, IST / LISBOA-N. / TEL. 70144 (linha 50)

DIRECTOR
HENRIQUE ESTÁCIO MARQUES

ADMINISTRADOR
JOSÉ MARIA AVILLEZ

BIBLIOTECÁRIO
HORÁCIO DE CAMPOS NETO

SECRETÁRIO
LUÍZ DA CUNHA FERRAZ

CORPO REDACTORIAL
JOÃO A. A. JUSTO
JOSÉ PIRES CASTANHO
DUARTE N. MENDES DA COSTA

NÚMERO AVULSO 9$00

ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	12 N.os
Continente e Ilhas	25$00	45$00	85$00
Colónias Portuguesas e Estrangeiro	—	50$00	90$00

EDITOR E PROPRIETARIO
ASS. DOS ESTUD. DO I. S. T

COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.DA
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — Fabrico de blocos de betão celular (Celulite) no Hospital Escolar do Porto

Págs.

O descarregador de cheias do Pego do Altar . . . . . Eng.º Vasco da Silveira Bual 181

Um método sistemático para a determinação dos esforços nas barras dos sistemas articulados no espaço . . . . . Eng.º Armando de Campos e Matos 202

Filtração. Prensagem . . . . . Eng.º Luís A. de Almeida Alves 207

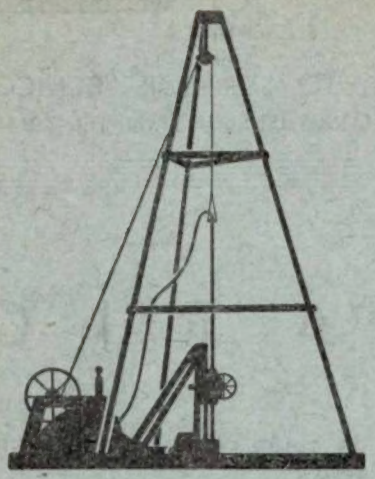
V Exposição Fotográfica do Instituto Superior Técnico 224

Processos unitários da química orgânica. — Nitração . . . . . Eng.º Manuel Chagas Roquette 225

Tipos modernos de transmissões 235

Biblioteca 247

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES



RODIO

As melhores referências no país e no estrangeiro

SONDAGENS RÓDIO, Limitada

Sondagens geológicas, estudo da resistência e permeabilidade de terrenos; laboratório geotécnico

Pesquisas de água.

Consolidação e impermeabilização de terrenos e de obras por meio de injecções de cimento, produtos químicos, argila activada, emulsão betuminosa Shellperm, etc.

Estacas de betão armado, sistema **Ródio** moldadas no solo sem trepidações.

Rebocos comprimidos por «cement gun»

Fundações em terrenos difíceis quer por congelação artificial, quer por abaixamento do lençol de água.

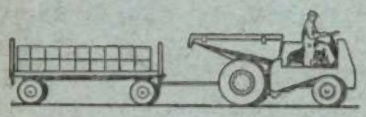
Sócio gerente residente em Portugal:
Walter Weyermann, Eng. civil

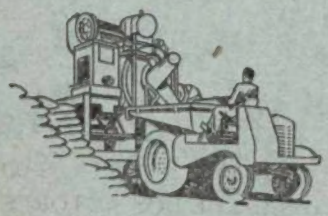
R. S. Mamede ao Caldas, 22, 3.º — LISBOA

Tel. 2 8685

MUIR-HILL DUMPER

TRANSPORTADORES BASCULANTES COM COMANDO ROTATIVO





O método mais económico de transportar materiais a granel, como podem comprovar as unidades já ao serviço em Portugal

///

OS REPRESENTANTES EXCLUSIVOS

HENRY M. F. HATHERLY, L.DA

RUA DO COMÉRCIO, 8

Telefones 2 2001 e 2 6633 — LISBOA

vos fornecerão todos os detalhes e as suas propostas para entregas rápidas

TÉCNICA
HENRIQUE ESTÁCIO MARQUES
DIRECTOR

ANO XXV - N.º 189 FEVEREIRO 1949

O descarregador de cheias do Pego do Altar

PELO ENG.º CIVIL (I. S. T.) VASCO DA SILVEIRA BUAL

C. D. 627.833 (469)

Comunicação apresentada ao 2.º Congresso Nacional de Engenharia

CAPITULO

Generalidades

O descarregador de superfície duma barragem constitui o seu órgão de segurança mais importante.

Da sua eficiência e estabilidade depende a vida da própria barragem, a qual, como disse o eminente geólogo Maurice Lugeon, no final da sua bela obra: «Barrages et Géologie», tem, para quem a construiu, o valor duma catedral erigida para a fertilização das terras, para acalmar as sedes, para espalhar sobre o mundo a energia que trará o bem-estar e o prolongamento da vida.

Por isso a garantia a exigir dum descarregador é muito grande, pois se ele falhar na sua função, não só estes bens materiais, embora magníficos, se perdem, mas também podem correr um grave e fatal risco as vidas humanas dos que se encontrem a trabalhar ou habitem nos terrenos a jusante dessa barragem, os quais serão tragados pela mole imensa de água que se precipitará, em torrente, pelo vale.

São de facto bem pesadas e graves as responsabilidades de quem projecta e de quem constrói. Aquele tem de prever com segurança os valores das cheias a evacuar, de escolher o tipo mais conveniente de descarregador e de o dimensionar capazmente; este tem de dar execução perfeita ao projecto, de modo a que a obra responda fielmente à chamada no momento oportuno e inspire a necessária confiança.

Nunca é demais recordar, ao tratar destes assuntos, que tem sido a insuficiência de descarregadores, a maior contribuinte de desastres de barragens.

Em barragens de terra e de enrocamentos, esta causa é fatal, pois é sabido que, nestes casos, barragem galgada é barragem derrubada.

Se barragens de alvenaria ou betão não forem calculadas para resistir aos esforços determinados pela passagem das águas sobre as suas cristas, o resultado é o mesmo, pois as tensões no interior do maciço podem ultrapassar as cargas de ruptura.

É longa a série de barragens derrubadas por esta causa. Citaremos apenas algumas, mais características, descritas por Gómez

Navarro y José Juan Aracil no seu livro «Saltos de Água y Presas de Embalse»:

1 — **Barragem de Jonshtown**, sobre o rio Fork, na Pensilvânia (Estados Unidos). Era uma barragem de terra, com 284 metros de desenvolvimento na crista, e 22 metros de altura. O paramento da jusante, de pedra e terra, tinha o jorramento de 1/1. O de montante, de material argiloso, 2/1, com revestimento de pedra. O descarregador tinha 22 m. de desenvolvimento. Foi construída de 1840 a 1852 e serviu para alimentar um canal de navegação. Em 1889, já fora de exploração e servindo ùnicamente para pesca, após um período de chuvas intensas, encheu-se completamente e, sendo o descarregador insuficiente para evacuar a cheia, foi a barragem galgada e derrubada, de que resultou *a morte de 2.142 pessoas,* além de grandes prejuízos nos terrenos a jusante.

2 — **Barragem de Habra** (Argélia) — Altura 35 m. O seu descarregador foi previsto para dar vazão a 430 m^3/seg., em 1871. No ano seguinte uma cheia de 640 m^3/seg. (1,5 vezes a prevista) destruíu parte do descarregador, sem causar vítimas. Em 1881 sobreveio outra cheia de 800 m^3/seg. (1,85 vezes a prevista) que causou um rombo de 110 m de comprimento por 18 de altura, *vitimou 400 pessoas* e ocasionou inúmeros estragos materiais. A barragem tornou a ser reconstruída e em 1927, uma cheia ainda maior, calculada em 1.700 m^3/seg. (4 vezes a prevista) galgou a barragem que funcionou como descarregador. Não houve vítimas por ter havido tempo para avisar a população.

Quando da reconstrução o descarregador havia sido remodelado para uma capacidade de 900 m^3/seg.

3 — **Barragem de Swetwater** — Estados Unidos. — Tem uma história semelhante à anterior. O descarregador foi projectado para 50 m^3/seg. Cinco anos decorridos após a sua entrada em serviço, surgiu uma cheia de 148 m^3/seg. (3 vezes a prevista). Aumentou-se a sua capacidade e veio outra cheia de 500 m^3/seg. (10 vezes a prevista). Tornou-se a aumentar a capacidade e uma nova cheia de 1.280 m^3/seg. (26 vezes a prevista) causou novos estragos.

Ultimamente foi construído um descarregador capaz de dar vazão a uma cheia de 1.900 m^3/seg., isto é: com uma capacidade 38 vezes superior à primitiva!

4 — **Barragem de Molare** — Itália. — É este um caso muito conhecido. É o rio Orba vedado por duas barragens: uma, a principal, chamada «Bric Zerbino», com 47 m. de altura, e outra, secundária, numa linha de água da margem esquerda, a montante daquela, chamada «Sella Zerbino», de 15 m. de altura. Os descarregadores de superfície e de fundo podiam evacuar, no conjunto, 880 m^3/seg. A bacia hidrográfica tem 141 km^2. A 13 de Agosto de 1935 produziu-se uma cheia da ordem dos 2.000 m^3/seg., para a qual os os órgãos de segurança das barragens (um dos de fundo não funcionou bem) foram insuficientes, tendo as duas barragens sido galgadas, com uma lâmina vertente sobre a principal de 2,25 m. e 2,45 sobre a secundária. Esta de perfil menos robusto e assente sobre rocha fragmentada e não defendida no seu pé de jusante, derrubou, *causando numerosas vítimas,* e destruindo casas, centrais hidro-eléctricas e campos.

Havia-se suposto um caudal específico de 2 m^3/seg./km^2 e esta catastrófica cheia deu um caudal de 15 m^3/seg./km^2, valor maior que o dedu-

zido pelas fórmulas de Fuller e Cresger e que o indicado pelas tabelas de Hanna e Kennedy, no seu livro «Design of Dams», edição de 1931, as quais, para bacias da superfície indicada dão um caudal máximo de 13,6 $m^3/seg./km^2$.

Soam estes exemplos, aos ouvidos de quem projecta, como sinos que tocam a rebate.

Aqui não se pode ser mesquinho ; há que estabelecer hipóteses largas, pois não serão uns milhares de contos que se consigam economizar numa obra de dezenas ou centenas de milhares que justificarão a perda possível de inúmeras vidas.

As mais das vezes, e, no nosso País frequentemente, são muito escassos, senão inexistentes, os dados relativos a precipitações e a medições de caudal, no local de implantação da Obra. Os existentes, além de muitas vezes merecerem pouca confiança, são, em geral, relativos a um pequeno número de anos. E é sabido que o valor duma cheia que tenha a probabilidade de surgir num período de dez anos, por exemplo, é muito inferior ao valor duma cheia que tenha probabilidade de surgir num período de cem ou mil anos.

Então tem de se recorrer à extrapolação de dados conhecidos relativos a outras bacias de características semelhantes, entrando-se em linha de conta com a superfície da bacia afluente, relevo do terreno, altitude, existência ou não de neve nas montanhas vertentes, etc.

Tem de haver muito maior prudência ao tratar-se de um descarregador para barragens de terra, ou de enrocamento, pelas razões já atrás apontadas. Para estes deve-se prever uma maior capacidade, pois as surpresas são muitas e sempre desagradáveis. Cuidados semelhantes há a ter se a barragem ficar situada a montante de povoações, estabelecimentos industriais, ou terrenos de grande riqueza.

Também quanto mais pequena é a bacia maior é a probabilidade de que uma precipitação de grande intensidade caia simultâneamente sobre toda a bacia e ocorra toda ao perfil da barragem, enquanto estiver durando essa chuvada. Nestes casos os caudais específicos atingem valores muito elevados.

No livro «Design of Dams», de Hanna e Kennedy, edição de 1931, estão registados os dados de numerosas cheias, em outras tantas estações medidoras de caudais, em vários rios dos Estados Unidos. Agrupadas essas observações por superfícies de bacias e feita a redução ao sistema métrico decimal pode-se formar o seguinte quadro:

Número de estações de medição de caudais	Superfície de bacia			Cheia máxima $m^3/s/km^2$	Cheia máxima Maximorum em um dos rios, em $m^3/s/km^2$	Cheia máxima Minimorum $m^3/s/km^2$
	Km^2		Média km^2			
2	0 a	1	0,6	26,8	32,00	19,55
13	1 »	5	3,1	18,5	41,70	0,25
13	5 »	10	7,3	7,5	19,30	1,61
17	10 »	20	15,5	8,1	22,10	0,48
37	20 »	50	34,0	3,9	15,15	0,08
45	50 »	100	67,9	3,6	19,60	0,06
55	100 »	200	148,0	2,0	13,60	0,06
80	200 »	500	324,6	1,1	9,60	0,04
87	500 »	1.000	710,0	0,64	3,30	0,03
113	1.000 »	2.000	1.424,0	0,42	4,32	0,026
108	2.000 »	4 000	2.834,0	0,26	1,15	0,015
65	4.000 »	7.000	5.485,0	0,23	1,10	0,012
65	7.000 »	12.000	9 292,0	0,18	0,94	0,014
33	12.000 »	17.000	14.596,0	0,16	0,62	0,016
33	17.000 »	25.000	20.745,0	0,16	0,92	0,016
11	25.000 »	35.000	29.935,0	0,15	0,40	0,01
17	35.000 »	50.000	29 935,0	0,06	0,22	0,015
18	50.000 »	100.000	29.935,0	0,088	0,34	0,011

A fixação do caudal de máxima cheia é sempre um problema incerto e difícil. Se partirmos das fórmulas de Fuller e Creager e considerarmos um grande número de anos para a determinação da probabilidade de máxima ocorrência, obtêm-se valores muito elevados, o qua significa um aumento do custo da obra.

Qual deverá ser pois o número de anos a considerar? Esta resposta depende, é claro, do bom senso de quem projecta, que se não pode alhear, como já se disse, do tipo da barragem e das condições existentes a jusante.

Diz Creager que, não havendo o risco de

perda de vidas humanas, basta contar com um período de 50 anos para o cálculo da cheia provável. Porém, para barragens situadas a montante de povoações dever-se-á ir a 1.000 anos ou mesmo a 10.000 anos.

Para grandes albufeiras pode-se ainda entrar em linha de conta com o efeito regularizador da albufeira, o qual pode contribuir para uma economia apreciável do custo da Obra, pela diminuição da sua capacidade de vazão.

O método gráfico de Barrows, publicado na revista «Civil Engineering», de Abril de 1933, resolve inteligentemente este problema. Porque a sua descrição sairia fora do âmbito desta comunicação, e porque fácil se torna consultar a referida revista, dispensamo-nos de o descrever.

Uma vez determinado o valor da cheia a evacuar, há que escolher o tipo de descarregador a construir.

Isto depende, evidentemente, das condições particulares de cada caso, quer geológicas, quer topográficas, quer ainda económicas (conveniência dos materiais a usar).

Cada caso particular é um problema a resolver, sendo difícil indicar regras gerais a adoptar.

Há agora que dimensionar o descarregador e projectá-lo.

Em hidráulica aplicada as fórmulas com que nos é dado trabalhar são sempre afectadas de coeficientes deduzidos da experiência, e, assim, nunca são rigorosas. Significa isto que as dimensões e formas determinadas analìticamente, nem sempre correspondem 100 % ao fim desejado. Há pois necessidade de fazer ensaiar, em laboratórios apropriados, modelos reduzidos das obras projectadas.

Quantas vezes sucede as indicações do laboratório traduzirem economias apreciáveis, por uma melhoria da forma permitir realizar uma obra mais perfeita e de dimensões mais reduzidas.

A técnica laboratorial, adiantadíssima noutros países, está ainda muito atrasada em Portugal.

A conveniente escolha da escala do modelo, o rigor da reprodução das condições locais, o emprego, nessa reprodução, dos próprios materiais existentes no local de implantação da Obra, são particularidades da maior importância para as conclusões a tirar dos ensaios.

Hoje, que o País atravessa uma aura de grande desenvolvimento, mormente no que respeita ao integral aproveitamento dos nossos cursos de água, é de esperar que os serviços possam vir a ter à sua disposição laboratórios com os quais se possa trabalhar em íntima e proveitosa colaboração.

E então, nós, que temos dedicado o melhor da nossa vida a estes estudos e obras, teremos outros instrumentos de trabalho e teremos mais confiança, ao construir, que a obra responderá «fielmente à chamada no momento oportuno» como começamos por dizer.

Isto não significa que tenhamos estado a trabalhar às escuras. Todas as obras principais, estudadas e realizadas na Junta Autónoma das Obras de Hidráulica Agrícola, têm sido ensaiadas, porém em laboratórios estrangeiros, o que sempre é diferente de termos laboratórios em casa, onde possamos nós próprios acompanhar a evolução do ensaio.

Por outro lado, poderão os técnicos do laboratório visitar assìduamente o local da Obra, para melhor a interpretarem e reproduzirem.

O adoçar uma curva, o tornar mais ou menos áspero um talude, a melhoria duma concordância de duas superfícies, uma mais perfeita incidência duma veia líquida noutra, etc., podem evitar movimentos turbilhonares, que não só exigem maior resistência das estruturas, como também prejudicam o movimento da água, e podem ainda melhorar coeficientes de vazão que darão à obra um melhor rendimento.

Também as comportas que frequentes vezes se aplicam sobre as cristas dos descarregadores, com o fim de obter um maior armazenamento, devem ser ensaiadas.

Postas assim estas generalidades, tratemos do caso particular do Pego do Altar.

CAPITULO II

O descarregador da superfície da obra n.º 5 da Junta Autónoma das Obras de Hidráulica Agrícola no Pego do Altar

1. — Previsão do volume de cheias

Eram muito poucos os dados existentes à data da elaboração deste projecto, para se poder proceder a um rigoroso estudo hidrométrico.

Os únicos postos pluviométricos existentes dentro da bacia de recepção do Pego do Altar, eram os de S. Tiago do Escoural e o das Alcáçovas, ambos muito recentes: funcionavam apenas desde Novembro de 1931.

Muito próximo dos limites da bacia encontravam-se os postos de Santa Suzana, Divor e Évora.

Os dois primeiros eram igualmente muito recentes e só o de Évora patenteava um registo de observações completo desde 1870.

Por isso, é nos dados fornecidos pelo posto de Évora que se baseia o estudo hidrométrico deste aproveitamento.

Pelos registos relativos a 62 anos (1871-72 a 1933-34) determinou-se uma chuva média anual de 626,7 mm.

A área da bacia é de 743 km² e é de forma alongada, no sentido Este-Oeste, tendo uma altitude de 420 m. em Monfurado.

Esta bacia tem a característica de produzir cheias de pequena duração, proporcionadas às chuvas caídas. Os gráficos referentes a tais cheias mostram conformação igual aos das bacias impermeáveis: primeira parte da curva alta e curta, seguida de parte baixa e alongada.

A configuração orográfica da bacia indica não ser só nas cabeceiras que existem zonas altas, mas também nos seus limites Norte e Sul, pelo que a redução a adoptar por coeficientes de escoamento prudentemente escolhidos, deverá ser pequena.

O coeficiente de escoamento adoptado, na determinação do máximo caudal de cheia, foi de 0,76.

Foi ainda determinado o tempo de duração da chuva crítica igual a 12 horas. Para esta duração, tendo em consideração as precipitações máximas, encontrou-se uma intensidade média de 9 mm/hora.

Com estes elementos e após longas e judiciosas considerações, em que se tomou em linha de conta os resultados obtidos pela aplicação do método de L. Kambo e pela aplicação das fórmulas de Possenti, de Fuller e de Iszkowski, e atendendo ainda à acção regularizadora de albufeira, foi finalmente fixado o caudal máximo de cheia provável em

1.000 m³/*seg.*

A este caudal máximo de cheia corresponde um caudal específico de 1,35 m³/seg./km², valor este que está de acordo com os valores determinados pelo Prof. Angelo Forti para diversas bacias italianas, destacando-se aqui dois casos, com os quais se compara o nosso, por a área da sua bacia estar compreendida entre a daqueles:

Localidades	Superfície de bacia km²	Caudal de cheia m³/seg.	Caudal unitário m³/seg/km²	Precipitações em 24 horas mm
Cismon . . .	495	800	1,62	150
Pego do Altar	743	1.000	1,35	100 (*a*)
Avisio . . .	937	1.200	1,28	200 (?)

a) — Foi este valor que o projecto considerou na fórmula de Possenti.

Comparando ainda o caudal específico de 1,35 m³/seg./km² com os indicados no quadro apresentado na primeira parte desta comunicação, vê-se que ele está compreendido (para bacias de 710 km² de superfície média) entre as cheias máximas e as máximas maximorum, o que é um índice de prudência das previsões, o que se justifica por se tratar de uma barragem de enrocamentos e pela existência de povoações a jusante da barragem.

2. — Localização

Tanto no ante-projecto de 1933, como no projecto de 1935 foi o descarregador loca-

lizado na margem direita da Ribeira de Santa Catarina, nas portelas das Sesmarias, entre as bacias hidrográficas do Rio Mourinho e da Ribeira de Santa Suzana, acerca de 1.500 m. a montante do local escolhido para implantação da barragem.

As variantes de 1939 e 1940 (esta última actualmente já construída) de que adiante se fala foram localizadas um pouco a montante da barragem, sobre a margem direita da Ribeira de Santa Catarina.

3. — Condições Geológicas do terreno de fundação

Os terrenos de fundação, tanto do ante-projecto de 1933, como do projecto de 1935 são de natureza movediça, constituídos por xistos decompostos, com aspecto de terreno quase arável.

Já o mesmo se não verifica no local onde está construído o actual descarregador.

A bacia de recepção da barragem do Pego do Altar apresenta no curso superior as formações arcaicas do maciço de Évora e no curso médio e inferior, a faixa dos pórfiros do Alentejo, os afloramentos stefanianos e a mancha devónica de Santa Catarina, onde está localizada a barragem do Pego do Altar e o seu descarregador, projectados sobre xistos luzentos folheados, de côr cinzenta ou avermelhada, fortemente enrugados e muito retalhados por veios de quartzo. Estes xistos são sílico-argilosas e os seus frequentes veios ou pequenos filões de quartzo branco não mineralizado são irregularmente desenvolvidos. Apresentam-se muita fracturados.

4. — Escolha do tipo

O descarregador desta barragem passou por várias fases, como adiante se indicará.

Assim, desde o ante-projecto de 1933 do tipo de soleira semi-circular, com 200 m. de desenvolvimento (ver desenho anexo), passou-se sucessivamente para o projecto de 1935, inserto em três portelas, com soleiras de planta recta, com um desenvolvimento total de 300 m. (ver planta: Localização) e para as variantes de 1939 e de 1940, ambas ensaiadas em Grenoble, no Laboratório Hidráulico de Neyret-Beylier.

A variante de 1939 apresenta, em planta, a forma de um V com o vértice truncado. Os lábios do descarregador ao longo das pernas do V e do alinhamento recto que lhe corta o bico, recebiam o caudal de cheia a evacuar, o qual seguia por um canal colector, de largura de rasto variável, para uma galeria aberta sob um cabeço que separa dois barrancos e que por sua vez o descarregava no leito da Ribeira de Santa Catarina, a jusante de barragem.

O descarregador definitivo, estudado na variante de 1940, é do tipo de poço afunilado, terminado por um troço cilíndrico de $10^m,40$ de diâmetro e $3^m,42$ de altura, o qual concorda, por meio de uma curva em ângulo recto, de raio igual a $16^m,96$ no eixo, com a galeria de descarga do descarregador, também com $10^m,40$ de diâmetro, cuja boca de saída fica situada 120 m. a jusante da ensecadeira de jusante de barragem.

5. — Projecto

A seguir ao ante-projecto de 1933, já referido na alínea anterior, cujo desenho é suficientemente elucidativo, foi elaborado, em 1935, o projecto, já igualmente citado.

Os caudais a evacuar pelo descarregador eram conduzidos, depois de transposto este, pela Ribeira de Santa Suzana para a de Santa Catarina, que com ela conflue e 1.600 m. a jusante da barragem.

Para dar vazão ao caudal de cheia de 1 000 m^3/seg. com uma carga sobre a soleira, à cota (50,70), de 1,56 m. foi previsto um desenvolvimente de 300 m., supondo um coeficiente de vazão de 0,385.

As obras projectadas limitavam-se ao nivelamento das portelas, numa extensão de 300 m. e ao seu revestimento numa faixa proporcionada, por forma a evitar escavações pelas águas sobrantes.

Pretendia-se com estas singelas obras realizar economia apreciável, tanto no seu custo como em futuras despesas.

Com efeito se, no futuro, se viesse a reconhecer a vantagem de aumentar a capacidade da albufeira, a todo o tempo se poderiam estabelecer alças automáticas com a altura e desenvolvimento que se pretendesse, sem que se tornasse necessário destruir obras já executadas, se o descarregador fosse em muro.

Porque a topografia da zona escolhida para a sua implantação assim o indicou e com o fim de dar um melhor desafogo ao seu acesso, o desenvolvimento total do descarregador foi distribuído pelas portelas I, II e III, conforme a planta, com os desenvolvimentos parciais de 200 m., 60 m. e 40 m. respectivamente.

Para evitar corrosões nos barrancos por onde devem correr as águas saídas pelos descarregadores, foram previstos, transversalmente a esses barrancos, pequenos diques de alvenaria de pedra seca, em grandes blocos, ou, na falta destes, sacos de rede de ferro galvanizado cheios de pedra e convenientemente ligados ao fundo e aos encontros.

Estes obstáculos quebrariam a velocidade da água, e, consequentemente, evitariam a corrosão dos barrancos.

6. — Variantes

61. — VARIANTE DE 1939.

O reconhecimento da insuficiência desta defesa, levou a estudar-se o revestimento total desde o descarregador à Ribeira.

Por outro lado, constatou-se ser a cota do nível do pleno armazenamento superior à da soleira do descarregador. Esta diferença resultou, não de se ter alterado aquele nível, mas de um engano de levantamentos esses feitos, aliás, por serviços estranhos à Junta Autónoma das Obras de Hidráulica Agrícola. Havia pois que barrar as portelas com um dique, sobre o qual passaria a água.

A consideração destas duas circunstâncias tornava a obra de tal maneira cara (mais de 8.000 contos), que obrigou a encarar nova solução.

Foi então considerada a portela que separa dois barrancos situados a NW do encontro direito da barragem. O de montante garantia um bom acesso ao descarregador. O de jusante aflue à Ribeira de Santa Catarina logo a seguir à barragem, em condições de segurança para esta e para a central hidro-eléctrica.

O projecto desta variante foi elaborado em concordância com os ensaios e estudos realizados no Laboratório Hidráulico da Casa Neyret-Beylier et Piccard-Pictet, de Grenoble.

Com o conhecimento destes estudos assentou-se na forma a dar ao descarregador que, em planta, tem o aspecto de um V com o bico truncado por uma portada de 20 m. que permite a descarga, só por si, de 370 m^3/seg., em plena carga. Cada um dos braços do V tem o desenvolvimento útil de $87^m,50$. Os braços do V são simètricamente afastados da bissectriz deste, e entre eles medeia uma distância de 20 m.

Sobre estes braços constituídos por muros de perfil convenientemente estudados, passa um caudal, a plena carga, isto é: com uma lâmina de $1^m,56$, de 680 m^3/seg., os quais, somados ao que passa sobre a portada central, prefaz um total de 1.050 m^3/seg.

Lembrou o Laboratório a conveniência de evitar possíveis ondas de cheia no túnel, derivadas da implantação deste em curva, pelo que se deu à secção transversal deste a forma circular, o que foi aprovado pelo Laboratório.

Os muros laterais têm a crista à cota (50,70), nível de pleno armazenamento. A portada, de 20 m. de vão, tem a soleira à cota (48,20), e será tapada com uma comporta de sector automático de $20,00 \times 4,00$ m. O bordo superior desta comporta fica pois à cota $(52,20) = 48,20 + 4,00$, isto é: até à cota de plena carga sobre a crista dos muros: $50,70 + 1,50 = 52,20$.

O caudal de máxima cheia a evacuar (1.000 m^3/seg.) é recebido em um colector de largura variável de 20 m. a $10^m,20$ e 100 m. de comprido, que o conduz a uma

galeria aberta sob o cabeço que separa os dois barrancos.

A galeria, da secção circular de $10^m,20$ de diâmetro, é de planta curva, formando os alinhamentos das tangentes um ângulo de 116,80 grados, com um raio de 200 m. O seu pendor é de $0^m,009$, por metro. É aberta em xistos em um comprimento de 395 m. compreendendo a transição de montante, de 16 m. de desenvolvimento.

Esta galeria levaria um revestimento de betão de espessura variável de $0^m,35$ no fecho a $0^m,65$ nas nascenças, com reforço abaixo do diâmetro médio horizontal.

Esta obra foi orçada, ao tempo 6.500 contos.

A boca de entrada deste descarregador estava implantada em 8 de Janeiro de 1939.

As escavações foram ainda iniciadas em Janeiro e executaram-se até 21 de Maio.

Nesta data apresentou o Empreiteiro uma proposta para a construção de outra galeria de fundo, a fim de evitar o galgamento das ensecadeiras.

Surgiu então a ideia de se aproveitar essa galeria como canal de descarga de um descarregador de configuração circular e em forma de poço afunilado, localizado na prumada da galeria e logo a montante da barragem.

O estudo realizado neste sentido confirmou plenamente a possibilidade económica e técnica desta solução, depois definitivamente adoptada.

62. — VARIANTE DE 1940

621. — Descrição geral

Este descarregador foi calculado para dar vazão a uma cheia de 1.000 m^3/seg. Os ensaios de laboratório indicaram que ele pode de facto evacuar uma cheia de 1.200 m^3/seg., ao que corresponde um caudal específico 1,62 m^3/seg./km^2 de bacia.

O eixo do poço fica na prumada do eixo da galeria de descarga, a uma distância de $85^m,90$ da boca de entrada e a $308^m,00$ da de saída, distâncias estas medidas a contar das testas. A galeria apresenta, em planta, um eixo recto.

O descarregador é constituído por quatro muros rectilíneos de $21^m,25$ de comprimento cada, com a crista à cota (48,76), dispostos em quadrado circunscrito a uma circunferência de 36,50 de diâmetro, medidos entre os pontos de tangência dos alinhamentos da crista.

Nos vértices do quadrado existem os pegões onde se encontram os comandos das comportas de sector, montadas sobre as cristas.

Estas comportas permitem aumentar a capacidade de armazenamento da albufeira até à cota (52,26) do N. M. C., que fora da época das cheias, passou a ser também o N. P. A.

Cada comporta, com uma altura de $3^m,50$ tem um comprimento de $21^m,25$.

A água evacuada é recebida num funil, cujo diâmetro superior mede, como já se disse, $36^m,50$ e cujo diâmetro inferior, à cota (31,26), mede $10^m,40$. Este funil é continuado por um troço vertical, cilíndrico, com aquele diâmetro e $3^m,42$ de altura, até à cota (27,84).

É neste plano horizontal que nasce, como já se disse, a concordância com a galeria, por meio de um cotovelo em ângulo recto, de raio $16^m,96$ no eixo, até encontrar o eixo da galeria à cota (10,88).

As formas finais deste projecto foram, como já se disse, ensaiados em laboratório hidráulico.

Assim, o perfil dos muros aproxima-se da forma de Creager e não lhe obedece rigorosamente, pois a necessidade de evitar depressões prejudiciais à vazão e à estabilidade do muro, levou a dar ao paramento de jusante menor inclinação. Para que o descarregador desse passagem ao caudal de cheia, sob a carga de 3,50 m, foi necessário que o valor do coeficiente de vazão fosse elevado a 0,42, pelo menos, o que se conseguiu arredondando o coroamento do muro e dando ao seu paramento de montante a inclinação de 1/1, ao mesmo tempo que se baixou a plataforma de acesso da água para a cota (47,56), isto é: pondo-a $1^m,20$ abaixo da soleira do descarregador.

Estes resultados, que o cálculo não pode indicar, foram determinados pelos ensaios.

Daqui se vê a enorme utilidade que há em se trabalhar em paralelo com um bom laboratório. O custo destes ensaios é largamente compensado pela economia que resulta de uma obra de menores dimensões. Neste caso, se não fossem as indicações do laboratório, ser-se-ia levado, provàvelmente, a dar uma maior altura às comportas, com todos os inconvenientes daí resultantes.

É pena não podermos apresentar o estudo completo destes ensaios, mas a exiguidade do espaço não o permite.

A forma do funil, também ensaiada, é constituída por superfícies torsas, que fazem a transição dos muros para o poço vertical da descarga. Segundo as diagonais do quadro existem 4 nervuras, destinadas a evitar o choque das veias líquidas.

A galeria de descarga, que foi utilizada durante a construção, como galeria de desvio, é tamponada assim que tal função for dispensada. Este tampão, constituído por um grande maciço de betão, é colocado imediatamente a montante do cotovelo de concordância do poço vertical à galeria.

Esta galeria, quando funciona para o descarregador, é capaz de evacuar, sob uma carga de 50 m. e segundo um regime de escoamento gradualmente retardado um caudal de 1.800 $m.^3/seg$

Para os grandes caudais o poço fica cheio na sua parte inferior, enquanto que a galeria funciona em conduta livre. Produz-se assim um descolamento no intradorso da parte curva da veia. Torna-se pois necessário, para evitar depressões, sempre prejudiciais, e para obter um funcionamento regular:

— Localizar o descolamento em uma aresta;

— Arejar a galeria imediatamente a jusante desse descolamento;

— Assegurar uma superfície livre horizontal à entrada da galeria.

Estas três condições, assim como a necessidade de evitar as depressões do poço, levaram à concepção de um dispositivo de arejamento, constituído por um poço vertical que recebe ar por chaminés colocadas em dois dos pegões que separam os muros do descarregador.

A aresta de descolamento é rectilínea e horizontal, o que dá uma superfície livre horizontal desde o início da galeria.

Esta aresta forma um saliente no cotovelo, estreitando assim progressivamente a secção, até à secção mínima necessária para o comando das condições de escoamento, a jusante da qual reina a pressão atmosférica, graças à entrada de ar.

É nesta secção mínima que se encontra a pressão mínima; e, sendo esta igual à pressão atmosférica, não se corre o risco de haver cavitação ou depressão no poço.

O estudo das formas do cotovelo permitiu suprimir irregularidades à entrada da galeria, que se repercutiriam até ao seu extremo de jusante.

A ausência de ondas à entrada torna possível a existência de uma superfície livre, não dando lugar a que haja conduta forçada, seja em que ponto for.

A galeria tem, como já se indicou, um diâmetro de $10^m,40$ e uma inclinação de 4 m/km.

A grande velocidade da água à saída do poço cria perdas por atrito que não são compensadas pela inclinação da galeria.

O escoamento mantém-se em regime torrencial, mas a velocidade decresce para jusante, dando origem a um escoamento «retardado», acusando a curva dos remúos uma subida progressiva da linha de água para jusante, sem que, contudo, a saída da galeria deixe sempre de ficar livre, formando-se um jacto à saída. O escoamento faz-se sempre com superfície livre, em todo o comprimento da galeria. Para um caudal máximo de 2.000 $m^3/seg.$, a altura de água à saída da galeria é da ordem dos $7^m,80$.

A saída da galeria, convenientemente estudada, permite recuperar a energia, por um assalto em derivação e orientar a forma do escoamento, de modo a evitar erosões junto da obra, prejudiciais à sua estabilidade.

O descarregador assim previsto permite a possibilidade de dar vazão a um caudal de

1.800 m^3/seg., se mais tarde se vier a reconhecer a conveniência de se encarar uma cheia desse valor.

Terá então que se construir um dispositivo contra a formação do vórtice, para evitar que o descarregador se afogue, reduzindo-lhe a sua capacidade de vazão.

Esse dispositivo consistiria na construção de nervuras ligando os pegões, em X, cuja finalidade seria contrariar a tendência natural dos filetes líquidos a tomarem um movimento de rotação, de sentido, aliás, indeterminado.

622 — **Disposições construtivas**

6221 — ESTRUTURA EM BETÃO.

Os muros do descarregador, de betão de 300 kg/m^3, descem 4 m. abaixo da plataforma do descarregador. No seu interior corre uma galeria de visita, permitindo a passagem de um pegão para outro, para comandar manualmente as comportas, se porventura falhar o seu automatismo.

O acesso às galerias faz-se por dentro dos pegões, por meio de escadas de porão.

Os pegões descem 2^m,30 abaixo da plataforma e são igualmente, de betão de 300 kg/m^3 de dosagem.

No interior dos pegões instalam-se os órgãos de comando das comportas.

O revestimento do funil tem uma espessura variável de 1 m. na parte superior, a 0^m,40, no começo do troço vertical do poço. Daqui para baixo mantém-se esta espessura uniformemente, incluindo o revestimento da galeria.

O tubo de arejamento da galeria tem um diâmetro de 2^m,00 e fica separado do funil colector do descarregador, de uma espessura de, pelo menos, 1^m,00 de betão.

O tampão obturador da galeria e no qual se desenha a curva de concordância, vai até 13 m. para montante do eixo do poço vertical e é constituído por 3 troncos de cone de 10 m. de altura, desde esse perfil para jusante. O betão nele empregado será de 300 kg/m^3 de dosagem, ou talvez menos rica, conforme o estudo dos betões o determinar.

As testas da galeria são formadas por muros de betão.

O fundo do canal de descarga, que se segue à galeria, apresenta uma forma torsa, determinada pelos ensaios com revestimento de betão de 1 m. de espessura e é rematado por um muro corta-águas de 2 m. de altura. As suas espaldas são constituídas por muros de betão de 1^m,50 de espessura mínima, ficando o da margem esquerda construída apenas até à cota (11,00) enquanto a galeria funcionar como galeria de desvio da ribeira. O da margem direita é vertical e de espessura uniforme. O da margem esquerda tem um jorramento de 1:4, o que, ao nível do terreno, corresponde a uma sobrespessura de 1^m,25.

6222. — COMPORTAS

Como já se disse sobre cada muro do descarregador funciona uma comporta de segmento.

As principais características destas comportas, são:

Vão: 21^m,25

Altura: 3^m,50

Cada comporta é constituída por:

Tabuleiro — Composto de uma estrutura metálica formada por duas vigas compostas ligadas entre si por cantoneiras de contraventamento;

Dois braços em estrutura metálica, de ligação das vigas às articulações;

Uma série de nervuras em ferro laminado U, transmitindo às vigas os esforços suportados pela chapa do tabuleiro;

Uma chapa de 8 mm. fixada sobre as nervuras precedentes.

Articulações — Compostas de:

Duas chumaceiras de rolamento de rolos em chumbadoiros embebidos nas alvenarias dos pegões;

Dois veios fixados aos braços da comporta.

Soleira — Composta de:

Um ferro laminado I 300 com uma barra soldada e aplainada.

Mecanismo de manobra automático — Constituído por:

Dois contrapesos de equilíbrio em betão;
Dois contrapesos flutuadores também de betão;
As peças de fixação dos cabos aos contrapesos e à comporta;
Os cabos de ligação;
Os ferros U guias dos contrapesos nos poços com os respectivos chumbadoiros;
As peças guias chumbadas nos contrapesos;
As peças de fixação da corrente aos contrapesos de equilíbrio e de manobra;
As peças mecânicas do mecanismo.

Mecanismo do comando manual — Constituído por:

Dois guinchos agindo sobre a corrente de ligação do contrapeso de equilíbrio ao contrapeso de manobra, com dispositivos de embraiagem, e veio de sincronização com as respectivas engrenagens de ângulo e fixações.

Acessórios para o conjunto das quatro comportas do descarregador — Compostos de:

Uma válvula de borboleta para cada poço de manobra permitindo isolar este da galeria de alimentação, com os respectivos órgãos de manobra colocados na parte superior dos pilares;
Uma grelha fina;
Uma válvula-descarregador de tomada de água, regulável, comandada na parte superior dos pilares;
Uma válvula de regulação do esvaziamento da galeria de alimentação com os seus órgãos de manobra na parte superior dos pilares;
Uma válvula de tomada de água suplementar para o comando hidráulico voluntário do conjunto das comportas, com os seus órgãos de manobra na parte superior dos pilares;
Uma válvula de descarga na galeria de alimentação dos poços, com os seus órgãos de comando na parte superior dos pilares;
Duas grelhas para a entrada dos poços de arejamento;
Os painéis em chapa estriada para a cobertura dos poços;
As guardas metálicas necessárias.
As comportas são pintadas com tinta anti-corrosiva.

7. — Orçamento

O orçamento deste descarregador, revisto em 1943, importava em 14.643.208$00, dos quais 250.000$00 correspondiam a injecções de cimento e 2.407.710$50 dizem respeito às comportas metálicas.

8. — Construção

Mediante concurso público realizado em 21 de Dezembro de 1940, a execução das obras referentes a este projecto, foi adjudicada a Bastian & Costa, L.da, por S. Ex.a o Ministro das Obras Públicas e Comunicações, em 27 de Dezembro de 1940.

A base de licitação foi de 8.486.000$00, tendo-se verificado uma baixa de 10.000$00.

O contrato foi assinado em 11 de Fevereiro de 1941.

Como atrás se disse, já em 1940 tinham principiado as terraplenagens no local do descarregador, ainda segundo o projecto da primeira variante, as quais se prolongaram até 21 de Maio. Durante esse tempo foram escavados e removidos 20.910 m.³ (Ver fotografia n.º 1).

Os trabalhos recomeçaram nos meados de Março de 1941, primeiro manualmente e só a partir da 2.a quinzena de Abril se começou a empregar explosivos, sobretudo «saedite». Usou-se também a «amonite», «dinamonite» e «gelamonite».

A linha de água existente na margem direita, a montante do descarregador, foi utilizada para depósito dos produtos de escavação, por estar a uma distância de transporte económica, com um pequeno pendor

favorável, e por comportar um elevado volume. Esta distância média foi de cerca de 180 m.

Fot. 1

Aspecto das terraplenagens no local do descarregador

Em 1941 escavaram-se mais 44.700 m.^{3} na plataforma.

Na 2.ª quinzena de Agosto de 1941 foi iniciada a abertura do poço do descarregador (Ver fotografias 2, 3, 4, 5 e 6 da sua localização).

Fot. 2

Localização do poço do descarregador

A meio do mês de Março começaram-se a abrir as bocas do túnel do descarregador.

A 21 e 26 de Maio, respectivamente, começou a abertura da galeria de avanço, por jusante e por montante utilizando-se

Fot. 3

Fot. 4

Fot. 5

Aspectos de escavação do poço do descarregador

martelos de ar comprimido (Ver fotografia 7.

Durante o ano de 1941 escavaram-se:

Na boca de montante . .	3.350 m.^{3}
Na boca de jusante . .	4.440 m.^{3}

A galeria de avanço, com 6 m.^{2}, 25 de secção ficou concluída em 16 de Agosto

Fot. 6
Abertura do poço do descarregador

Fot. 7
Ataque da galeria de avanço da galeria do descarregador, a partir da boca de montante

deste ano e o alargamento desta secção para 28 m^2 terminou a 30 de Novembro.

Assim, no princípio de Dezembro dispunha-se já no novo túnel, de uma secção de vazão de 28 m.^{2}, para auxiliar aquela que o primitivo túnel podia dar.

O volume escavado foi de 11.190 m.^{3}, utilizando-se diàriamente 2 turnos de 10 horas cada, sendo cada turno dividido em 2 grupos, um para o ataque de montante e outro para o de jusante.

A ventilação apenas foi necessária durante a abertura da galeria de avanço. Foi feita uma aspiração, utilizando-se dois ventiladores centrífugos, accionados por motores eléctricos de 10 HP, a partir de avanços de cerca de 80 m. A canalização era constituída por ventubos de 25 cm. de diâmetro, feito com pano cru a que se aplicou uma pintura com tinta feita com óleo de linhaça, fezes de ouro e preto de Itália. O tempo médio de funcionamento dos ventiladores foi por períodos de 10 minutos, intervalados por períodos de meia hora, o que deu cerca de 5 a 6 horas por dia.

De um modo geral o xisto em que o túnel foi aberto, comportou-se muito bem. Na abertura do alargamento apenas houve que aplicar entivações locais em 3 pontos.

Durante este ano não houve necessidade de efectuar esgotos.

Adiante se indicam as quantidades de trabalho realizadas e por realizar até ao final de 1947.

Igualmente se indicam os consumos de explosivos, cápsulas e rastilhos (Ver Quadros I a V).

Continuamos pois a dar, à maneira de efemérides, os tópicos principais que assinalaram a construção desta obra, ilustrando-os com algumas fotografias.

No princípio de Março de 1942 o poço ficou ligado à galeria de descarga do descarregador, pelo que, a partir de Abril de 1942 o desmonte das terras do poço se começou a fazer por gravidade, para a galeria, onde eram recolhidas em vagonetas, que as conduziam a depósito.

A regularização das paredes ia sendo executada com saneadores, a par e passo que o corte avançava.

A 25 de Abril e dias seguintes houve cheias na Ribeira de Santa Catarina, pelo que este trabalho teve de ser interrompido, visto a galeria ter funcionado.

Em Junho verificou-se um decréscimo no ritmo do trabalho, por falta de pessoal, que, sempre nesta época, sai em grande número para os serviços de ceifas.

Começaram nesse período os preparativos para a execução do revestimento de galeria, a partir da boca de jusante, assim como para o do poço.

Com este fim executou-se nas oficinas de carpintaria da Obra um modelo reduzido, de $^1/_4$ do funil do descarregador, na escala de 1:10.

Em Julho continuaram estes preparativos, que vieram a terminar em Agosto, tendo-se efectuado a primeira betonagem do revestimento da galeria, num troço de 6 m. de elevação, no dia 23 de Setembro de 1942.

A fotografia 8, mostra os moldes desta primeira betonagem.

Fot. 8
Moldes da primeira betonagem para o revestimento da galeria

No entretanto íam prosseguindo os trabalhos de desmonte e regularização, tanto da galeria como do poço (Ver fotografias 9 e 10).

A 30 de Outubro ligavam-se, a meio da galeria, os alargamentos feitos a partir das bocas, de alargamento este que constituíu a 3.ª fase do desmonte.

Em Novembro chegaram à Obra os estudos e ensaios do Laboratório de Grenoble, relativos à galeria e ao poço, este ainda

Fot. 9
Ataque por jusante da galeria do descarregador

Fot. 10
Regularização do perfil da galeria, com saneador

incompleto. Estudaram-se as condições de adaptação do projecto e estado dos trabalhos às indicações do Laboratório.

No entretanto tiveram de parar os trabalhos na galeria e no poço por motivo de cheias.

Em Dezembro começou-se, na plataforma, um rebaixamento de 0,^{m}70 correspondente à espessura da soleira do descarregador.

Em 17 e 30 de Janeiro e 1 de Fevereiro de 1943, houve as maiores cheias do ano. Foram estas cheias muito violentas, tendo ocasionado bastantes estragos, entre os quais os meios auxiliares de trabalho para o revestimento da galeria, além de grandes estragos no estaleiro da barragem.

Em Abril reiniciaram-se os trabalhos preparatórios para o revestimento da galeria, tendo-se em Maio betonado já um troço de 3 m. do revestimento da galeria, na abóbada.

De notar, uma ruína, já saneada, no fecho da abóbada. Esta e outras ruínas que se deram, foram cheias com uma alvenaria constituída por xisto são e uma argamassa de cimento e areia, com o traço de 1 : 3.

Em Novembro de 1943 ficou pràticamente concluída a abertura da galeria, tendo-se feito em Dezembro sòmente trabalhos de regularização e limpeza.

Neste mês ficaram ligados os troços da soleira, executados a partir de montante e de jusante, num desenvolvimento de 354 m. faltando apenas os 25 m. iniciais e os 20 finais. As elevações ficaram concluídas num desenvolvimento de 142 m., ou seja, aproximadamente, 35 % do total.

Em Fevereiro de 1944 betonaram-se os últimos 20 m. de jusante da soleira da galeria.

Em Março foi feita a primeira betonagem na plataforma do descarregador.

Em Novembro deste ano a galeria ficou completamente regularizada em 349 m. dos seus 399 m., portanto em todo o seu desenvolvimento, excepto nos 25 m. da transição de entrada e nos 25 m. da zona do tampão (Ver Quadro IV).

Ficaram apenas faltando ensoleirar os 25 m. da transição da entrada e revestir as elevações desse mesmo troço e de 25 m. na zona do tampão.

Foi então resolvido não se revestir a transição de montante, pelo que ficou apenas faltando revestir, no final de 1944, a zona do tampão.

A fotografia 11, mostra um aspecto dos trabalhos para o revestimento da plataforma do descarregador.

Fot. 11

Aspecto dos trabalhos na plataforma do descarregador

Fot. 11-a

Um aspecto dos trabalhos, vendo-se as entradas das galerias de circulação de água

Começaram-se a sentir fortemente toda a série de dificuldades provenientes da guerra.

Não se tratava sòmente do aumento de preço dos materiais e dos salários, mas também da dificuldade de os adquirir e da irregularidade do seu fornecimento.

As faltas de carvão, gasóleo, gasolina, de varão de ferro (principalmente dos diâmetros mais pequenos), do próprio cimento nacional, cujas fábricas se ressentiam da falta de carvão, agravaram profundamente a vida da Obra e do Empreiteiro.

Ter um trabalho organizado e preparado, e, de repente, faltar um comboio de cimento com que se contava, causa prejuízos enormes. Por umas semanas não se vai despedir pessoal especializado, não se vai deslocar uma máquina dum estaleiro para outro, etc. Uma avaria numa máquina, que se resolveria em poucas horas substituindo uma peça que normalmente haveria em armazém, era causa, neste período, de grandes preocupações. A peça necessária não se encontrava no mercado de Lisboa; encomendá-la do estrangeiro era quase impossível. Então, se, por um acaso fortuito, a peça em questão não era encontrada nalgum sucateiro, recorria-se à improvização e à oficina inadequada, com a certeza de que uma nova avaria era agora mais provável e perdia-se a confiança na máquina. Tudo isto representava atrasos e um queimar incalculável de dinheiro.

Louvores são devidos à Firma Bastian & Costa, L.^{da}, empreiteira desta Obra, pelo estoicismo com que tem suportado tanta dificuldade e pela perseverância, dedicação e competência postas ao serviço da Obra.

Decretos saneadores têm amparado os empreiteiros portugueses e é, graças a esses Decretos, que esta Obra não parou um único dia, embora o ritmo de trabalho tenha diminuído consideràvelmente.

Que estes homens possam continuar a trabalhar e ver o seu esforço recompensado, são os votos que, muito sinceramente, aqui deixo registados.

Por todas as razões, os anos que se seguiram foram de muito fraco rendimento.

Assim, em 1945 foi-se continuando com a regularização do poço, só faltando, no final do ano, alargá-lo junto da sua ligação com a galeria.

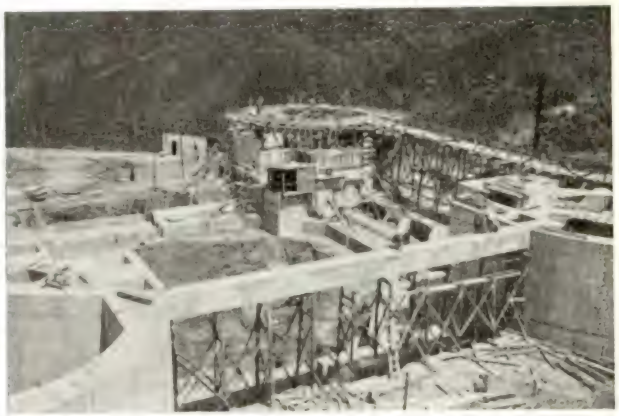
Neste ano não foram iniciados quaisquer trabalhos para o revestimento do poço do descarregador.

No fim do ano começou a betonagem da saída da galeria, trabalho esse que as cheias depois interromperam.

Em 1946 o poço do descarregador ficou quase completamente revestido acima da cota (22,34), isto é: até à curva do cotovelo de concordância com a galeria.

Os quatro blocos ficaram concluídos, salvo nos bicos onde as comportas são fixadas. Executaram-se também os passadiços entre esses blocos.

As fotografias n.ºs 12 e 13 mostram-nos dois aspectos destes trabalhos.



Fot. 12

Blocos n.ºs 2 e 3 já concluídos e n.º 1 em execução
Passadiços entre os blocos n.ºs 2 e 3

Fot. 13

Um aspecto dos trabalhos

A betonagem da saída da galeria de descarga prosseguiu durante a estiagem, mas não ficou concluída, como se vê na fotografia n.º 14.

Durante este ano começou a chegar o material para o equipamento das comportas do descarregador de superfície, fornecido pela casa Neyert-Beilier et Piccard-Pictet.

Fot. 14

Revestimento da saída da galeria do descarregador

Para a montagem deste material chegou à Obra no fim de Fevereiro de 1947 o primeiro montador, vindo daquela casa.

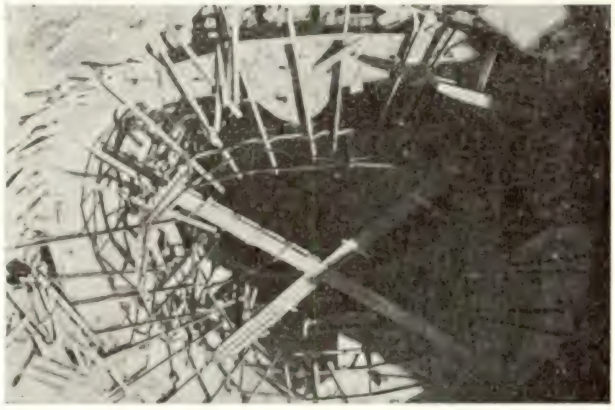
Fot. 14-a

Saída da galeria

As fotografias 15, 16 e 17 mostram aspectos dos trabalhos em Março desse ano.

Em Abril ficaram concluídos o revestimento do poço acima da cota (22,34), a galeria e o poço de arejamento, a galeria de circulação de água, os quatro troços do descarregador, os quatro blocos (salvo nos respectivos bicos em execução) e os quatro passadiços entre estes. Ficaram em curso as

Fot. 14-b



Fot. 14-c

Dois aspectos das cofrages para o revestimento do poço

Fot. 14-d

Aspecto da construção do maciço n.º 3

betonagens dos bicos dos blocos e faltava executar o muro de revestimento dos taludes junto do maciço n.º 3.

Foi montada nesse mês uma das grelhas do bloco de comando do automatismo das comportas (Bloco n.º 2).

Em Maio iniciaram-se os preparativos para a completa obturação da galeria de

Fot. 15

Fot. 16

Prosseguimento da montagem das comportas

descarga, a saber: construção de uma ensecadeira junto da boca de montante e esgoto das águas.

Em Junho recomeçaram as escavações no poço, na parte inferior, para a sua ligação à galeria com vista à execução do tampão que deverá obturar esta.

Em Julho começaram as betonagens da obturação.

Fot. 17

Construção de um esporão

Foi neste mês que se iniciaram as injecções de cimento na galeria de descarga do descarregador de superfície, tendo-se efectuado as seguintes furações:

Em betão	18,14 m.
Em xisto	34,67 m.
Para fixação dos obturadores	16,20 m.

A fotografia n.º 18 mostra um dos esporões do descarregador de superfície e um dos bicos dos respectivos blocos.

Estes bicos ficaram pràticamente concluídos em Agosto de 1947.

Neste mês executaram-se os seguintes trabalhos de injecções:

Furações:	Em betão . . .	20,68 m.
	Em xisto . . .	34,19 m.
	P.ª fixação dos obturadores. .	16,20 m.
Cimento injectado		23,200 kg.

Em Setembro interrompeu-se a obturação da galeria, ficando o tampão à cota (12,50).

Esta interrupção teve por fim permitir que a galeria ainda funcionasse como descarga de fundo, embora com menor secção, durante o Inverno 1947-48, para evitar que o nível da água subisse demasiadamente na albufeira, pois a barragem não tem ainda montada a sua cortina estanque.

Fot. 18

Um dos esporões do descarregador de superfície e um dos bicos do respectivo bloco

Em Setembro injectaram-se 27.655 kg. de cimento na galeria.

Em Outubro as quantidades de trabalho de injecções foram:

Furações: Em betão . . .	9,09	m.
Em xisto . . .	15,29	m.
P.ª fixação dos obturadores. .	7,20	m.
Reperfuração .	1,70	m.
Cimento injectado	28,700	kg.

Prosseguiu a montagem do equipamento das comportas.

Em Novembro, Dezembro e Janeiro de 1948 as quantidades de trabalho de injecções foram as seguintes:

Designação dos trabalhos	Novembro	Dezembro	Janeiro
Furações: Em betão . m.	38,15	86,92	5,59
Em xisto . m.	27,57	53,36	9,32
P.ª fixação dos obturadores . m.	12,96	25,20	6,48
Reperfuração . . m.	—	—	0,65
Cimento injectado. . kg.	20.500	12.350	6.100

Em Janeiro de 1946 concluíram-se as escavações da boca do jusante da galeria e ficaram quase completos os muros laterais.

A fotografia 19 mostra uma comporta do descarregador já montada.

Fot. 19

Uma comporta já montada

QUADRO I — Progressão das escavações

ANOS	ESCAVAÇÕES EM M³			
	A céu aberto	Em poço	Em galerias	Totais
1941	52.490	518	11.190	64.198
1942	20.864	5.900	19.653	46.416
1943	5.806	1.629	9.134	16.569
1944	6.580	5.709	2.214	14.503
1945	6.940	1.244	—	8.184
1946	7.155	—	—	7.155
1947	2.610	840	—	3.450
Totais .	102.445	15.840	42.191	160.476

QUADRO V — Quantidades de trabalho realizadas e a realizar até final de 1947

Designação dos trabalhos	QUANTIDADES									
	Previstas	Realizadas								A realizar
		Em 1941	Em 1942	Em 1943	Em 1944	Em 1945	Em 1946	Em 1947	Totais	
Escavações										
A céu aberto . . m³	110.061	52.490	20.864	5.806	6.580	6.940	7.155	2.610	102.445	7.616
Em poço . . . . m³	16.240	518	5.900	1.692	5.709	1.244	—	840	15.840	400
Em galeria . . . m³	42.470	11.190	19.653	9.134	2.214	—	—	—	42.191	279
Betões										
De 300 kg . . . m³	21.498	—	281	3.637,000	5.870,408	2.114,488	5.246,603	3.363,974	20.513,473	984,527
De 250 kg . . . m³	269	—	—	—	25,300	13,578	41,412	—	80,290	188,710
Moldes										
Planos . . . . . m²	3.356	—	—	—	148,49	580,26	2.761,63	406,95	3.407,33	—
Curvos . . . . . m²	20.408	—	454.30	5.880,20	5.594,41	767,47	2.982,08	1.217,07	16.895,53	3.512,47
Diversos										
Ferro em varão . kg.	13.425	—	—	1.187	444	—	10,493	15.502	27.626	—
Tubo em guardas m.	78	—	—	—	—	—	—	—	—	78
Chapa de chumbo kg.	1.459	—	—	—	—	—	1,459	—	1.459	—
Picagem de betão m³	25	—	—	—	—	—	—	25	25	—

QUADRO II — Consumo de explosivos

ANOS	Explosivos (kg.)	Cápsulas	Rastilho (m)
1941	5.339	7.461	2.263
1942	12.700	20.366	26.137
1943	6.207	12.561	15.247
1944	2.984	6.313	8.435
1945	1.501	3.176	4.299
1946	535	839	1.799
1947	636	1.114	2.734
Totais .	29.902	51.880	60.914

Para o total de 160.476 m^3 de escavações, os consumos de explosivos por m^3 de desmonte, são:

Explosivo ..... 186 gr/m^3
Cápsulas ..... 0,32/m^3
Rastilho..... 0,38 m/m^3

QUADRO III — Progressão dos betões

ANOS	Betão de 300 kg. (m^3)	Betão de 250 kg. (m^3)
1942	281,000	—
1943	3.637,000	—
1944	5.870,408	25,300
1945	2.114,488	13,578
1946	5.246,603	41,412
1947	3.363,974	—
Totais...	20.513,473	80,290

O total geral foi pois de: 20.593,763 m^3.

QUADRO IV — Progressão do revestimento da galeria

ANOS	Soleiras (m. l.)	Elevações (m. l.)
1942	—	28,4
1943	354	113,6
1944	20	207,3
Totais...	374	349,3

CAPITULO III

Finalidade da comunicação

Ao apresentarmos esta Comunicação ao II Congresso Nacional de Engenharia, duas finalidades tivemos em vista.

A primeira foi dar a conhecer, aos que da acção deste Organismo do Estado têm andado afastados, uma Obra concebida e realizada pela Junta Autónoma das Obras de Hidráulica Agrícola.

A segunda foi chamar a atenção para a premente urgência de dotar os Serviços com bons Laboratórios de Hidráulica.

Tudo deixa prever que o funcionamento da Obra confirme os resultados dos ensaios, o que significa que, no estado actual da ciência, o laboratório de modelos reduzidos é a ferramenta indispensável ao engenheiro hidráulico.

Porém, não é suficiente construir bons laboratórios e dotá-los com bom material.

É também necessário guarnece-los de bons técnicos, cuja preparação terá de ser feita nos bons laboratórios da Europa e da América, durante largos estágios.

Quando, entre nós, existam bons laboratóríos, onde os que se dedicam a estes estudos e obras tenham fácil acesso, de modo a familiarizarem-se ìntimamente com os fenómenos que regem o movimento das águas, terá sido dado um grande passo em frente.

Embora reconheçamos haver a maior vantagem no contacto e convívio com engenheiros e meios de trabalho estrangeiros, certamente será preferível podermos conceber, projectar e realizar os nossos empreendimentos com a prata da casa.

Terminemos pois esta Comunicação expressando os nossos mais ardentes votos pela rápida criação em Portugal de bons Laboratórios de Hidráulica.

BIBLIOGRAFIA UTILIZADA

Barrages et Géologie, de Maurice Lugeon.

Saltos de Agua y Presas de Embalse, de José L. Gómez Navarro y José Juan Aracil.

Engineering for Dams, de Creager, Justin e Hinds.

Projectos da Junta Autónoma das Obras de Hidráulica Agrícola.

Relatórios da Junta Autónoma das Obras de Hidráulica Agrícola.

Relatórios do Sr. Engenheiro Residente da Obra N.º 5 — Pego do Altar.

Um método sistemático para a determinação dos esforços nas barras dos sistemas articulados no espaço

PELO ENG.º (U. P.) ARMANDO DE CAMPOS E MATOS

C. D. 531.224.6

Comunicação apresentada ao 2.º Congresso Nacional de Engenharia

1 — Introdução

O cálculo dos sistemas articulados no espaço faz-se normalmente por métodos numéricos em virtude de, ao contrário do que acontece nos sistemas planos, os métodos gráficos não serem de aplicação vantajosa.

O cálculo numérico consiste essencialmente na resolução de sistemas de equações lineares traduzindo as condições de equilíbrio das forças que concorrem em cada nó.

Certos sistemas articulados — sistemas denominados simples — podem calcular-se sem ter que resolver sistemas de mais de três equações a três incógnitas. O cálculo dos outros sistemas articulados — sistemas compostos — pode reduzir-se ao cálculo de sistemas simples por aplicação dos métodos de Henneberg e de Müller-Breslau. E assim, o cálculo dos sistemas articulados no espaço pode sempre limitar-se à resolução de sistemas de três equações lineares a três incógnitas.

Várias têm sido as simplificações introduzidas na resolução destes sistemas de equações; em particular mencionamos o emprego dos coeficientes de tensão — Southwell, Müller-Breslau — de que faremos uso no que segue.

No método que apresentamos e que consiste numa aplicação simples do cálculo vectorial, procuramos obter uma sistematização que se justifica uma vez que se trata de cálculos quase sempre muito laboriosos.

2 — Justificação

As equações que traduzem o equilíbrio dum nó obtêm-se pela projecção de todas as forças que nele concorrem num sistema de eixos cartesianos; no caso de sòmente serem desconhecidos os esforços em três das barras, as três equações obtidas determinam esses esforços desde que as três barras não sejam complanas.

Em vez de utilizarmos o mesmo sistema de eixos de referência para toda a estrutura, vamos escolher para cada nó um sistema de eixos tal que, em cada uma das equações de projecção se anulem dois dos esforços desconhecidos: obteremos assim, da projecção nesses eixos, em vez dum sistema de três equações a três incógnitas, três equações a uma incógnita cada.

Evidentemente que cada um dos eixos deverá ser perpendicular a duas das barras.

A formação das equações de projecção nestes eixos, que pelos métodos da geometria analítica seria muito trabalhosa, pode fazer-se simplesmente pela aplicação do cálculo vectorial.

Consideremos um sistema articulado simples e numeremos os seus nós pela ordem que deve seguir-se o cálulo. Seja o nó n donde partem barras, em que se desconhecem os esforços, para os nós p, q, r e seja $\overline{F}$ a resultante das forças aplicadas e dos esforços já calculados. Sejam $\overline{np}$, $\overline{nq}$, $\overline{nr}$ vecto-

res com a origem em n e a extremidade em, respectivamente, p, q, r. Sejam ainda $\overline{T}np$, $\overline{T}nq$, $\overline{T}nr$ os esforços nas barras np, nq, nr, e ρnp, ρnq, ρnr os respectivos coeficientes de tensão.

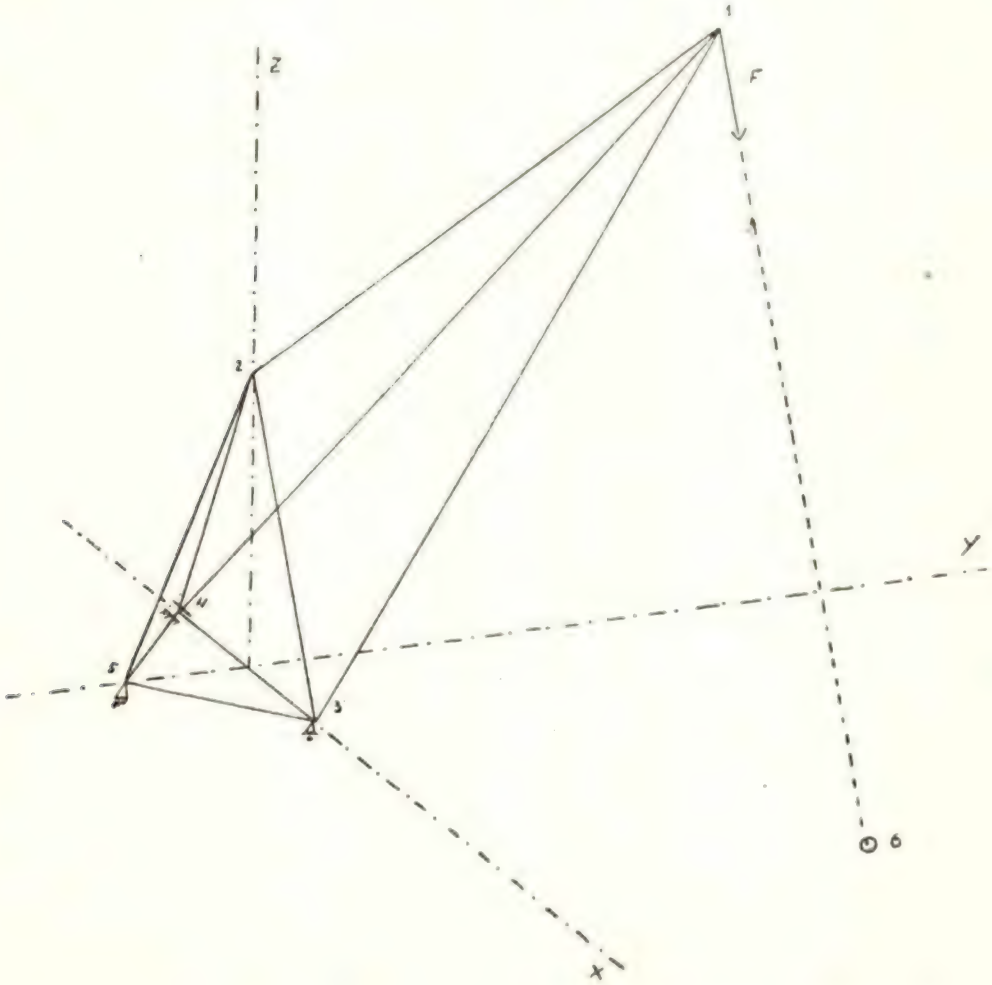
O esforço na barra np será determinado pela equação de projecção de todas as forças num eixo perpendicular a nq e nr. Essa equação pode obter-se igualando a zero o produto escalar de todas as forças por um vector qualquer que tenha por suporte o eixo referido; e um vector nestas condições é o produto vectorial de $\overline{nq}$ por $\overline{nr}$;

Idênticamente:

$$\rho\, nq = -\frac{\overline{F} \mid \overline{nr} \wedge \overline{np}}{\overline{nq} \mid \overline{nr} \wedge \overline{np}}$$

$$\rho\, nr = -\frac{\overline{F} \mid \overline{np} \wedge \overline{nq}}{\overline{nr} \mid \overline{np} \wedge \overline{nq}}$$

A ordem dos vectores no produto vectorial é indiferente; tomamo-la, no entanto, tal que os denominadores das três fracções sejam permutações circulares. Desta maneira tem todos o mesmo valor.



Teremos pois

$$(\overline{F} + \rho np \,.\, \overline{np}) \mid \overline{nq} \wedge \overline{nr} = 0 \qquad \text{e}$$

$$\rho\, np = -\frac{\overline{F} \mid \overline{nq} \wedge \overline{nr}}{\overline{np} \mid \overline{nq} \wedge \overline{nr}}$$

As barras cujo coeficiente de tensão seja positivo trabalham à tracção; no caso contrário trabalham à compressão.

Nas aplicações práticas é conveniente substituir as reacções por barras de ligação.

3 — Aplicação

Consideremos o sistema representado na figura. A solicitação é constituída por uma única força de 1.000 kg aplicada em 1 e dirigida para 6. O sistema apoia-se nos nós 3, 4, 5 sendo o nó 5 fixo, o nó 4 móvel na direcção da barra 34 e o nó 3 móvel no plano das barras 34 e 35.

Em relação ao sistema de eixos indicado as coordenadas dos nós são:

	X	Y	Z
1	0	8	8
2	0	0	4
3	2	0	0
4	−2	0	0
5	0	−2	0
6	8	6	0

Verifica-se que se trata dum sistema simples e que a ordem que deve seguir-se no cálculo é a mesma por que se numeram os nós.

Os cálculos a efectuar encontram-se resumidos nos quadros seguintes. Para cada nó organiza-se um quadro onde se inscrevem:

I — As três barras cujos esforços se desconhecem e as respectivas componentes;

II — Os produtos vectoriais dos vectores anteriores dois a dois (obtidos directamente a partir das três primeiras linhas);

III — As forças aplicadas no nó: forças exteriores e esforços já calculados;

IV — A resultante das forças da alínea anterior.

Calculam-se a seguir os coeficientes de tensão e os esforços nas barras pelas fórmulas deduzidas.

Para verificação dos cálculos pode completar-se o quadro com as componentes dos esforços. A soma das componentes — inscritas na última linha — deve ser igual e de sinal contrário aos valores da linha «IV».

Na última coluna (imcompleta) inscrevem-se as grandezas dos esforços.

	i	j	k	
$\overline{12}$	0	−8	−4	
$\overline{13}$	2	−8	−8	
$\overline{14}$	−2	−8	−8	
$\overline{12} \wedge \overline{13}$	32	−8	16	
$\overline{13} \wedge \overline{14}$	0	−32	−32	
$\overline{14} \wedge \overline{12}$	−32	−8	16	
$\overline{F}$	697	−174	−697	
$\overline{T}_{12}$	0	−1046	−523	+1172
$\overline{T}_{13}$	−501	2004	2004	−2880
$\overline{T}_{14}$	−196	−784	−784	+1125
	−697	174	697	

$$\rho_{12} = -\frac{174 \times 32 + 697 \times 32}{-8 \times 32 + 4 \times 32} = +130{,}75$$

$$\rho_{13} = -\frac{-667 \times 32 + 174 \times 8 - 697 \times 16}{-128} = -250{,}5$$

$$\rho_{14} = -\frac{697 \times 32 + 174 \times 8 - 697 \times 16}{-128} = +98{,}0$$

	i	j	k	
$\overline{23}$	2	0	−4	
$\overline{24}$	−2	0	−4	
$\overline{25}$	0	−2	−4	
$\overline{23} \wedge \overline{24}$	0	16	0	
$\overline{24} \wedge \overline{25}$	−8	−8	4	
$\overline{25} \wedge \overline{23}$	8	−8	4	
$\overline{T}_{21}$	0	1046	523	
$\overline{T}_{23}$	−392	0	784	−877
$\overline{T}_{24}$	392	0	784	−877
$\overline{T}_{25}$	0	−1046	−2092	+2340
	0	−1046	−524	

$$\rho_{23} = -\frac{-1046 \times 8 + 523 \times 4}{-2 \times 8 - 4 \times 4} = -196{,}125$$

$$\rho_{24} = -\frac{-1046 \times 8 + 523 \times 4}{-32} = -196{,}125$$

$$\rho_{25} = -\frac{1046 \times 16}{-32} = +523$$

	i	j	k	
$\overline{34}$	-4	0	0	
$\overline{35}$	-2	-2	0	
$\overline{r}_3^z$	0	0	1	
$\overline{34} \wedge \overline{35}$	0	0	8	
$\overline{35} \wedge \overline{r}_3^z$	-2	2	0	
$\overline{r}_3^z \wedge \overline{34}$	0	-4	0	
$\overline{T}_{31}$	501	-2004	-2004	
$\overline{T}_{32}$	392	0	-784	
	893	-2004	-2788	
$\overline{T}_{34}$	-2897	0	0	$+2897$
$\overline{T}_{35}$	2004	2004	0	-2834
$\overline{R}_3^z$	0	0	2788	$+2788$
	-893	2004	2788	

	i	j	k	
$\overline{45}$	2	-2	0	
$\overline{r}_4^y$	0	1	0	
$\overline{r}_4^z$	0	0	1	
$\overline{45} \wedge \overline{r}_4^y$	0	0	2	
$\overline{r}_4^y \wedge \overline{r}_4^z$	1	0	0	
$\overline{r}_4^z \wedge \overline{45}$	2	2	0	
$\overline{T}_{41}$	196	784	784	
$\overline{T}_{42}$	-392	0	-784	
$\overline{T}_{43}$	2897	0	0	
	2701	784	0	
$\overline{T}_{45}$	-2701	2701	0	-3822
$\overline{R}_4^y$	0	-3485	0	-3485
$\overline{R}_4^z$	0	0	0	0
	-2701	-784	0	

$$\rho_{34} = -\frac{-893 \times 2 - 2004 \times 2}{4 \times 2} = +724{,}25$$

$$\rho_{34} = -\frac{2004 \times 4}{8} = -1002{,}0$$

$$R_3^z = -\frac{-2788 \times 8}{8} = +2788{,}0$$

$$\rho_{45} = -\frac{2701 \times 1}{2 \times 1} = -1350{,}5$$

$$R_4^y = -\frac{2701 \times 2 + 784 \times 2}{2} = -3485{,}0$$

$$R_4^z = -\frac{0}{2} = 0$$

	i	j	k	
$\overline{r^x_5}$	1	0	0	
$\overline{r^y_5}$	0	1	0	
$\overline{r^z_5}$	0	0	1	
$\overline{r^x_5} \wedge \overline{r^y_5}$	0	0	1	
$\overline{r^y_5} \wedge \overline{r^z_5}$	1	0	0	
$\overline{r^z_5} \wedge \overline{r^x_5}$	0	1	0	
$\overline{T}_{52}$	0	1046	2092	
$\overline{T}_{53}$	— 2004	— 2004	0	
$\overline{T}_{54}$	2701	— 2701	0	
	697	— 3659	2092	
$\overline{R^x_5}$	— 697	0	0	— 697
$\overline{R^y_5}$	0	3659	0	+ 3659
$\overline{R^z_5}$	0	0	— 2092	— 2092
	— 697	3659	— 2092	

$$R^x_5 = -\frac{697 \times 1}{1} = -697{,}0$$

$$R^y_5 = -\frac{-3659 \times 1}{1} = +3659{,}0$$

$$R^z_5 = -\frac{2092 \times 1}{1} = -2092{,}0$$

Verificação final:

$$\overline{F} + \overline{R_3} + \overline{R_4} + \overline{R_5} = 0$$

$$\begin{cases} F^x + R^x_5 = 0 \\ F^y + R^y_4 + R^y_5 = 0 \\ F^z + R^z_3 + R^z_4 + R^z_5 = 0 \end{cases}$$

$$697 - 697 = 0 \quad \therefore \quad 697 = 697$$

$$-174 - 3485 + 3659 = 0 \quad \therefore \quad 3659 = 3659$$

$$-697 + 2788 - 2092 = 0 \quad \therefore \quad 2788 = 2789$$

FILTRAÇÃO. PRENSAGEM

PELO ENG.º QUÍMICO-INDUSTRIAL LUÍS A. DE ALMEIDA ALVES
Assistente do I. S. T.

C. D. 663.63

Introdução

No artigo sobre Peneiração, Classificação e Separação por Densidades, fez-se referência à possibilidade de efectuar uma separação de partículas de diferentes granulometrias, mantidas em suspensão num líquido, por meio de um peneiro colocado no percurso desse líquido. A granulometria das partículas que passam é função da abertura das malhas do peneiro e, portanto, pode concluir-se que, se essa abertura for inferior à granulometria das partículas mais pequenas, é possível efectuar uma separação completa entre o líquido e as partículas em suspensão e a essa separação dá-se o nome de filtração.

Apresenta-se, no entanto, uma dificuldade de ordem prática, devida à impossibilidade de construir peneiros com aberturas sucessivamente decrescentes; de facto, em geral, os peneiros mais finos que se utilizam são os de 200 malhas da escala de Tyler, a que corresponde uma abertura de 74 μ, valor que é muito superior às dimensões habituais das partículas a separar. O primeiro passo para a resolução do problema consiste em substituir as redes metálicas por tecidos de fibras naturais ou artificiais (lã, algodão, seda, seda artificial, amianto, etc.); consegue-se, deste modo, reduzir a abertura das malhas, mas, geralmente, não é possível ainda, reter as partículas mais finas.

Sob o ponto de vista prático, o problema não é resolúvel, portanto, em geral, com o emprego de peneiros metálicos, nem com a utilização de diferentes tecidos, porque não é possível obter malhas de abertura suficientemente pequena, para efectuar uma separação completa, na maioria dos casos. Por consequência, para obter secções de passagem mais reduzidas, é necessário lançar mão de outros meios, que, na prática, se reduzem a utilizar corpos aparentemente compactos, mas que, na realidade tenham uma determinada porosidade; este objectivo consegue-se com três tipos de *materiais filtrantes*:

a) Membranas
b) Produtos cerâmicos
c) Materiais finamente moídos constituindo um enchimento de grãos soltos.

O problema toma, no entanto, aspectos diferentes, de acordo com as quantidades relativas de líquido (que tem o nome genérico de filtrado) e de sólido em suspensão (a que é costume dar o nome de precipitado). Com efeito, se a quantidade de sólido é pequena, a camada que se deposita sobre o material filtrante é pouco espessa e pràticamente não intervém na filtração; pelo contrário, se a quantidade de precipitado é muito grande, a sua espessura é apreciável e portanto forma um *bolo* [1] que constitui, por sua vez, outro material filtrante, com o qual é preciso entrar em consideração para fazer o estudo do problema. Este novo material filtrante é do tipo de enchimento de grãos soltos e o seu estudo é diferente conforme seja formado por partículas duras (isto é, indeformáveis por acção dos esforços a que estiverem sujeitas) ou constitua um precipitado gelatinoso como, por exemplo, no caso de alguns hidróxidos. No primeiro caso,

[1] Em francês «tourteaux»; em inglês, «cake» e em alemão «Kuchen».

diz-se que os bolos são *incompressíveis*, e no segundo, *compressíveis*.

Na prática industrial, na maioria dos casos, a filtração efectua-se, principalmente, através do precipitado e, sendo assim, o material filtrante tem quase só uma acção de suporte. Por isso, nestes casos, podem utilizar-se como materiais filtrantes (ou mais, precisamente, materiais de suporte), redes metálicas ou tecidos, sobre os quais se deposita o precipitado através do qual a filtração se vai realizando; no entanto, é natural que, neste caso, as primeiras porções de filtrado venham turvas, enquanto a camada de precipitado não for suficientemente espessa.

O estudo da filtração consiste em analisar cada um dos tipos de materiais filtrantes e deduzir as condições de aplicação prática, entrando em linha de conta com as características das substâncias a filtrar.

CAPITULO I

GENERALIDADES SOBRE A FILTRAÇÃO

Qualquer que seja o tipo de material filtrante, é evidente que há sempre uma certa resistência à passagem do líquido, e por isso, é preciso provocar uma compressão sobre a superfície filtrante, no lado da entrada do líquido, ou uma aspiração, no lado da saída, as quais são determinadas pela perda de pressão do líquido através do material filtrante. Mas, como se sabe, a perda de pressão é função da velocidade do líquido e esta, para um dado caudal, depende da secção de passagem; e, como esta secção é a dimensão fundamental do estudo de um filtro, pode concluir-se que a determinação das dimensões tem de ser feita a partir do conhecimento da perda de carga no percurso do líquido através dos poros do material filtrante.

O cálculo desta perda de carga vai exigir, portanto, que se faça prèviamente o estudo da estrutura dos diferentes materiais filtrantes.

Por outro lado, nos filtros em que a filtração se efectua, em parte, através do bolo (aos quais é costume dar o nome de filtros de precipitado), a perda de carga depende da espessura que o bolo atingir e, portanto, a secção de passagem é também função dessa espessura, a qual se determina de modo a ser mínima, isto é, ser suficientemente grande para a filtração se efectuar em boas condições, mas não ter valores exagerados, a fim de não aumentar, inùtilmente, a pressão. Em geral a espessura dos bolos varia entre 0,5 cm. a 5 cm. e, portanto, para as quantidades habituais de precipitado, são necessárias áreas muito grandes, a não ser que o precipitado, que se vai depositando, possa ser retirado com facilidade, de modo que a superfície filtrante seja utilizada frequentes vezes.

Na prática, só é possível conseguir este objectivo quando o precipitado é retirado contìnuamente e, por isso, os filtros de precipitado agrupam-se em duas categorias:

a) Filtros de grande área filtrante e trabalho *descontínuo;*

b) Filtros de pequena área filtrante e trabalho *contínuo*.

No primeiro tipo, há toda a vantagem em não ocupar áreas muito grandes da fábrica e, por isso, os filtros são constituídos por várias superfícies filtrantes sobrepostas, separadas de um intervalo igual à espessura dos bolos, sendo o líquido introduzido sob pressão no espaço compreendido entre as diferentes superfícies. Estes filtros têm o nome de *filtros de pressão*.

No segundo tipo, as superfícies filtrantes têm de ser, evidentemente, animadas de um certo movimento e é mais cómodo, neste caso, por razões construtivas, vencer a pressão, por meio de uma aspiração; por isso, em geral, os filtros contínuos são *filtros de vácuo*.

As considerações anteriores permitem estabelecer os seguintes pontos de partida para a selecção dos filtros que se utilizam na prática:

a) Os filtros de materiais soltos não são utilizáveis para grandes quantidades de precipitado. Por isso, o seu emprego é bastante reduzido e limita-se, principalmente, à filtração de águas destinadas à alimentação e a algumas indústrias alimentares, como por exemplo a da cerveja.

b) Os filtros de membrana e de materiais cerâmicos empregam-se, principalmente, para pequenas quantidades de precipitado, e, em particular, em filtros de laboratório. No entanto, também podem ser empregados em filtros de precipitado, embora sem grande interesse.

c) Na maioria das aplicações industriais, os filtros que utilizam são os filtros de precipitado.

Apesar da maior importância dos filtros de precipitado, o estudo da filtração deve começar, lògicamente, pela consideração dos materiais filtrantes, analisando a sua estrutura e estabelecendo as expressões das perdas de pressão para cada caso.

CAPÍTULO II

ESTRUTURA DOS MATERIAIS FILTRANTES E PERDA DE PRESSÃO

a) *Generalidades*

Atendendo à reduzida secção dos poros e à pequena velocidade de passagem, o movimento do líquido pode ser considerado como viscoso e, portanto, a perda de carga por unidade de comprimento é dada pela expressão conhecida do «Transporte de Líquidos» [1]:

$$i = \frac{16}{N} \cdot \frac{1}{\bar{r}} \cdot \frac{U^2}{2g}$$

Portanto, a perda de pressão total $-\Delta p$ através do material filtrante, será

$$-\Delta p = \gamma e \cdot \frac{16}{N} \cdot \frac{1}{\bar{r}} \cdot \frac{U^2}{2g} ,$$

sendo e a espessura do material filtrante.

Mas,

$$N = \frac{U \rho d}{\mu} = \frac{4 U \rho \bar{r}}{\mu}$$

Portanto,

$$-\Delta p = \frac{2 \mu e U}{\bar{r}^2} .$$

Admitindo que a secção de passagem é circular, ter-se-á

$$\bar{r} = \frac{d}{4} = \frac{r}{2} ,$$

e

$$-\Delta p = \frac{32 \mu e U}{d^2} = \frac{8 \mu e U}{r^2} ,$$

que é a fórmula de Poiseuille já conhecida do Transporte de Líquidos, com a forma

$$U = -\frac{d^2}{32 \mu} \cdot \frac{dp}{dz} \quad \left(\text{sendo } \rho Z = 0\right)$$

Sendo p a pressão do líquido, a velocidade à saída da massa filtrante será, como se sabe,

$$U = \sqrt{2g \frac{p + \Delta p}{\gamma}}$$

ou

$$U^2 = \frac{2g}{\gamma} \left(p - \frac{8 \mu e U}{r^2}\right)$$

Portanto,

$$U = \frac{-8 g \mu e + \sqrt{64 g^2 \mu^2 e^2 + 2 g \gamma r^4 p}}{\gamma r^2}$$

Sendo Q o caudal do líquido, a secção total dos orifícios terá de ser

$$s = \frac{Q}{U}$$

A secção S da superfície filtrante terá de ser, evidentemente, superior a s, isto é,

$$S = \frac{1}{\alpha} \cdot s ,$$

sendo α um coeficiente menor que a unidade.

Para estudar o problema é necessário conhecer e, r, e α que variam para cada caso particular, como veremos.

Deve notar-se que, em geral, a fórmula de Poiseuille não é rigorosamente válida e terá de ser alterada conforme os casos.

b) *Filtros de membrana*

As membranas obtêm-se a partir de soluções coloidais, por evaporação do dissolvente,

(1) *Técnica*, n.º 172, pág. 242.

obtendo-se uma película fina de poros muito apertados. Em geral, as membranas são de colódio.

A espessura e da membrana mede-se com um micrómetro e o coeficiente α calcula-se determinando o volume v de água que fica retida nos poros, para o que basta calcular as massas M_s e M_h da membrana seca e húmida. Será

$$v = \frac{M_h - M_s}{\rho_a},$$

sendo ρ_a a massa específica da água ($\rho_a = 1$ gr. cm^{-3})

Se a secção total da membrana em que se faz a determinação for S_1, e a secção correspondente aos poros for s_1, será

$$s_1 = \frac{v}{e},$$

e

$$\alpha = \frac{s}{S} = \frac{s_1}{S_1} = \frac{v}{S_1 e} = \frac{M_h - M_s}{S_1 e \rho_a}$$

O valor de r tem de ser fornecido pelos fabricantes das membranas, que em geral, o calculam a partir, precisamente, da medição da perda de pressão, isto é,

$$r = \sqrt{\frac{8 \mu U e}{-\Delta p}} = \sqrt{\frac{8 \mu e Q_1}{-\Delta p s_1}} = \sqrt{\frac{8 \mu e Q_1}{-\Delta p \alpha S_1}},$$

sendo Q_1 o caudal através da superfície S_1.

Mas, para cada membrana, os valores de $\Delta - p$ e de $\frac{Q_1}{S_1}$ são constantes; portanto, fazendo

$$\frac{Q_1}{-\Delta p S_1} = \beta,$$

será

$$r = \sqrt{\frac{8 \mu e \beta}{\alpha}},$$

em que o coeficiente β tem o nome de permeabilidade e tem as dimensões

$$[\beta] = [L^2 M^{-1} T]$$

Deve notar-se que, no caso que estamos a considerar, o estudo da filtração é mais complicado, porque há que contar com outros fenómenos, como adesão de partículas e de iões sobre os poros, fenómenos electrostáticos, influência das bolhas de ar, etc. Por isso, todos estes cálculos estão sujeitos a rectificações.

Na prática, os valores de α variam entre 0,3 e 0,9. Quanto aos valores de r, as variações são muito grandes podendo ir de 5 m μ (milimicrons) a 5 μ; os poros de menor raio correspondem aos ultrafiltros nos quais se encontra a principal aplicação das membranas [1].

Os filtros de papel, pràticamente só utilizados no laboratório, podem ser estudados, em primeira aproximação, utilizando os raciocínios anteriores. O valor de r é indicado pelas casas fabricantes.

c) *Filtros de materiais cerâmicos*

Pertencem, fundamentalmente a três categorias:

1) *Filtros de porcelana porosa.*
2) *Filtros de grão aglomerados por fusão.*

São obtidos por fusão a elevadas temperaturas de grãos de várias substâncias, especialmente porcelana e vidro.

A esta categoria pertencem os filtros «Iena», conhecidos dos trabalhos de laboratório e cujas secções de passagem são dadas pelos fabricantes. Assim, admitindo que os poros são circulares, alguns valores de r são dados no quadro I.

QUADRO I

Tipo de filtro	r em μ
G 1	60
G 4	2,3 a 3,1
G 5	0,6 a 0,8

[1] Para informações mais detalhadas sobre Filtros de membrana, ver «Der Chemie — Ingenieur», de Eucken Jakob, volume I, 2.ª parte, pág. 242 a273.

Estes filtros fazem-se sempre com superfície circular que varia desde 2 a 60 cm de diâmetro, sendo os valores acima de 15 cm correspondente aos filtros industriais.

3) *Filtros de grãos aglomerados com um cimento de ligação*

Os filtros deste tipo são à base de alumina (com os nomes comerciais de alundum e aloxite), quartzo, carvão, carborundum, sexquióxido de crómio, etc. Quando o material básico é areia de grande pureza e o cimento de ligação é um silicato, obtém-se, por fusão a 1100° um material filtrante, a que os americanos dão o nome de *Filtros* (1).

Em qualquer destes três tipos, o valor de r é indicado pelas casas construtoras, para α pode tornar-se, apróximadamente, um valor da ordem de grandeza do que se utiliza no caso dos filtros de materiais soltos, como veremos.

d) *Filtros de grãos soltos*

1) *Utilização da equação de Poiseuille*

Neste caso, é possível fazer um estudo teórico mais detalhado do comportamento do material filtrante, em função da granulometria dos grãos, admitindo que estes têm forma esférica de raio R e estão dispostos com regularidade em toda a massa filtrante.

A disposição dos grãos não é fixa e depende, fundamentalmente, da pressão a que estão sujeitos; pode admitir-se que os grãos completamente soltos se dispõem de modo que os centros ocupam os vértices de cubos (fig. 1 a) e que no caso do máximo aperto, ocupam os vértices de tetraedros regulares que agrupados 6 a 6 constituem romboedros regulares (figs. 3 e 1 b).

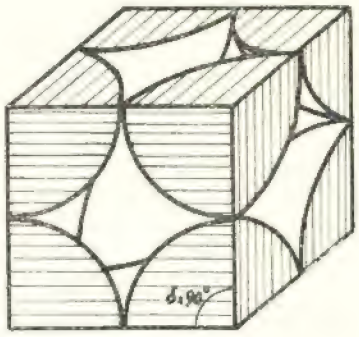
Na prática, a disposição dos grãos coincide com uma posição intermédia tal que o ângulo δ das arestas do romboedro está compreendido entre 60° e 90°.

(1) Para mais detalhes sobre estes filtros ver «Der Chemie-Ingenieur» de Eucken-Jakob, volume I 2.ª parte, pág. 238 a 242 e «Theory and Practice of Filtration», de G. Dickey e C. Dryden, pág. 74 a 77.

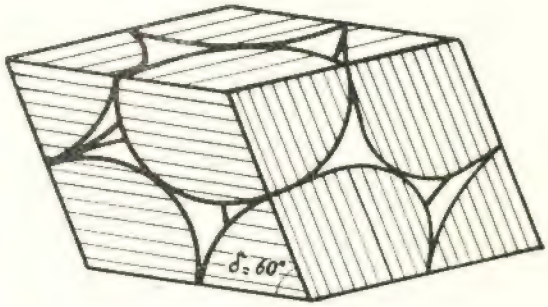
A área S_1 de cada losango é

$$S_1 = 4\,R^2 \operatorname{sen} \delta$$

A área s_1 da secção de passagem é igual à diferença entre as áreas do losango e de



a) — Disposição solta



b) — Disposição apertada

Fig. 1

4 sectores circulares cuja soma é a área de um círculo de raio R; portanto

$$s_1 = 4\,R^2 \operatorname{sen} \delta - \pi R^2 = R^2 (4 \operatorname{sen} \delta - \pi)$$

O valor de α será, portanto,

$$\alpha = \frac{s_1}{S_1} = \frac{\operatorname{sen} \delta - \frac{\pi}{4}}{\operatorname{sen} \delta}$$

(Para $\delta = 90°$, será $\alpha = 0{,}21$ e para $\delta = 60°$, vem $\alpha = 0{,}087$)

Para o cálculo de $\bar{r}$, utiliza-se a expressão habitual

$$\bar{r} = \frac{s_1}{\chi},$$

sendo χ, como se sabe o perímetro, da secção, cujo valor, neste caso, é igual à soma dos perímetros de 4 arcos de circunferência, de valor total

$$\chi = 2\pi R$$

Portanto

$$\bar{r} = R\left(\frac{2 \operatorname{sen} \delta}{\pi} - \frac{1}{2}\right) = \nu R$$

(Para $\delta = 90°$, $\bar{r} = 0{,}14\,R$ e para $\delta = 60°$, $\bar{r} = 0{,}05\,R$)

Como se determinou directamente o valor de $\bar{r}$, não é preciso considerar a secção de passagem como circular; por consequência, o valor de U vem em função de $\bar{r}$ e o seu valor será

$$U = \frac{-2 g \mu e + \sqrt{4 g^2 \mu^2 e^2 + 2 g \gamma \bar{r}^4 p}}{\gamma \bar{r}^2}$$

Deve notar-se que o valor de e não representa a espessura do material filtrante porque o percurso do líquido através dos poros é sinuoso como se mostra na figura 2 que representa a metade posterior da figura 1 b.

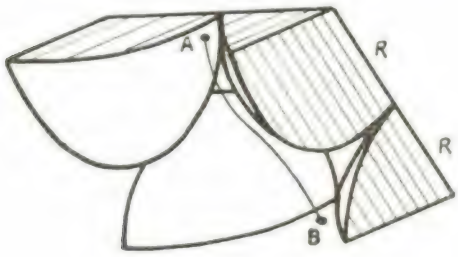


Fig. 2

Representando por e_1 a espessura do material filtrante será

$$e = k\, e_1$$

sendo k um coeficiente superior à unidade, tal que

$$k = \frac{l}{h},$$

sendo l o comprimento do percurso ABC e h a altura do romboedro.

O valor de l não pode ser determinado rigorosamente porque não se conhecem as equações da curva ABC; mas como l é ligeiramente superior a 2 R, pode tornar-se

$$l = 2{,}1\,R$$

O valor de h calcula-se a partir da fig. 3, considerando um vértice do romboedro em que os ângulos das arestas sejam todos iguais a δ.

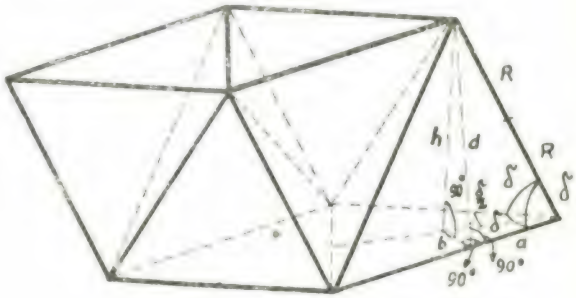


Fig. 3

Ter-se-á

$$h = \sqrt{d^2 - b^2},$$

sendo

$$d = 2\,R \operatorname{sen} \delta$$

e

$$b = a \operatorname{tg} \frac{\delta}{2} = 2\,R \cos \delta \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}.$$

Portanto

$$h = 2\,R \sqrt{\operatorname{sen}^2 \delta - \cos^2 \delta \operatorname{tg}^2 \frac{\delta}{2}} =$$

$$= 2\,R \sqrt{\operatorname{sen}^2 \delta - \cos^2 \delta \frac{\operatorname{sen}^2 \frac{\delta}{2}}{\cos^2 \frac{\delta}{2}}} =$$

$$= 2\,R \sqrt{(1 - \cos \delta)(1 + \cos \delta) - \cos^2 \delta \frac{1 - \cos \delta}{1 + \cos \delta}} =$$

$$= 2\,R \sqrt{\frac{1 - \cos \delta}{1 + \cos \delta}} \sqrt{1 + 2 \cos \delta} =$$

$$= \frac{2\,R \operatorname{sen} \delta \sqrt{1 + 2 \cos \delta}}{1 + \cos \delta}$$

(Para $\delta = 90°$, $h = 2\,R$ e para $\delta = 60°$, $h = 1{,}63\,R$)

Portanto

$$k = \frac{1{,}05\,(1 + \cos\delta)}{\operatorname{sen}\delta\sqrt{1 + 2\cos\delta}},$$

(Para $\delta = 90°$, $k = 1{,}05$ [1] e para $\delta = 60°$, $k = 1{,}3$)

Resta só determinar o valor de R em função da granulometria L das partículas a filtrar. Para isso, consideremos os casos extremos de $\delta = 90°$ e $\delta = 60°$ (fig. 4)

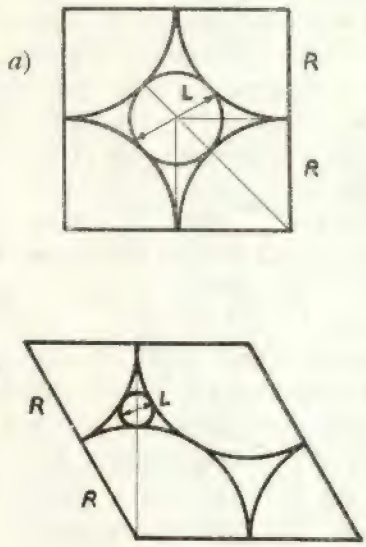


Fig. 4

No caso *a*) ter-se-á

$$R\sqrt{2} = \frac{L}{2} + R$$

ou

$$R = \frac{L}{2\left(\sqrt{2} - 1\right)} = 1{,}2\ L$$

No caso *b*), será

$$\frac{2R}{\sqrt{3}} = \frac{L}{2} + R\,,$$

ou

$$R = \frac{L\sqrt{3}}{4 - 2\sqrt{3}} = 3{,}2\ L$$

(1) No caso de $\delta = 90°$, é evidente que $l = 2R$ e $h = 2R$, portanto k seria 1. No entanto o valor obtido não é de admirar visto que o coeficiente 2,1 representa um valor médio, quando δ varia de 90° a 60°.

Destes resultados, conclui-se que para a filtração ser eficiente o raio dos grãos tem de ser inferior a 1,2 L no primeiro caso e a 3,2 L no segundo; portanto, convém trabalhar com enchimento apertado, porque, deste modo, se podem separar partículas mais finas com grãos de um dado raio. Se o ângulo δ estiver compreendido entre 90° e 60°, o valor de R estará compreendido entre os dois valores extremos, mas não é possível fazer um cálculo rigoroso. [1]

2) *Outras expressões da perda de pressão*

A equação de Poiseuille só é aplicável quando os grãos são muito finos e as velocidades pequenas e regulares. Por isso, apareceram várias fórmulas tendentes a exprimirem a perda de pressão com maior rigor, as quais, em geral, se obtêm a partir da fórmula de Poiseuille.

Como vimos,

$$-\Delta p = \frac{8\mu e U}{r^2},$$

ou

$$U = \frac{r^2}{8\mu} \cdot \frac{-\Delta p}{e}$$

A primeira alteração consistiu em fazer $\frac{r^2}{8\mu} = k$ e determinar o valor de k para cada material filtrante.

Ter-se-à, portanto

$$U = k \cdot \frac{-\Delta p}{e}$$

Outra alteração incidiu sobre o expoente de U, ficando

$$U^m = k \cdot \frac{-\Delta p}{e} \quad (1 \leqslant m \leqslant 2) \quad \text{(Smreker)},$$

ou

$$a\,U + b\,U^2 = -\frac{\Delta p}{e} \quad \text{(Forchheimer)}$$

(1) A estrutura que foi apresentada para os grãos do material filtrante, parece não corresponder inteiramente à realidade. Por isso, mais modernamente, têm-se admitido outras estruturas, que não nos interessa estudar e que vêm descritas no livro já citado «Der Chemie-Ingenieur», pág. 203 a 208.

Outro tipo de alteração tentou entrar em linha de conta com a porosidade ε que se define como a relação entre o volume vazio e o volume total. As expressões deste tipo são da forma

$$U = f(\varepsilon)\, r^2 \,.\, \frac{-\Delta p}{e} \quad \text{(Slichter)},$$

ou

$$U = k' \,.\, f(\varepsilon) \,.\, r^2 \quad \text{(Kozeny)}.$$

O valor de ε será,

$$\varepsilon = 1 - \varphi\,,$$

sendo φ a relação entre o volume dos grãos e o volume total.

O valor de φ pode calcular-se a partir de um romboedro, cujo volume total é

$$V = 4\, R^2 \operatorname{sen} \delta \,.\, h$$

Entrando com o valor de h já calculado, ter-se-á

$$V = \frac{8\, R^3 \operatorname{sen}^2 \delta \sqrt{1 + 2 \cos \delta}}{1 + \cos \delta} =$$

$$= 8\, R^3 (1 - \cos \delta) \sqrt{1 + 2 \cos \delta}$$

O volume v dos grãos contidos num romboedro é igual ao volume de uma esfera de raio R, isto é,

$$v = \frac{4 \pi R^3}{3}$$

Portanto

$$\varphi = \frac{\pi}{6\,(1 - \cos \delta)\sqrt{1 + 2 \cos \delta}}$$

e

$$\varepsilon = 1 - \frac{\pi}{6\,(1 - \cos \delta)\sqrt{1 + 2 \cos \delta}}$$

(Para $\delta = 90°$, vem $\varepsilon = 0{,}48$ e para $\delta = 60°$, $\varepsilon = 0{,}26$)

Não apresentamos valores das constantes e das funções porque, em geral, para um cálculo aproximado, a fórmula de Poiseuille satisfaz; no entanto, podem encontrar-se dados no livro «Der Chemie-Ingenieur», de de Eucken-Jakob, I, 2.ª parte, págs. 209 a 234.

3) *Realização prática*

Os materiais filtrantes utilizados são areia, terra de diatomáceas, carvão, carvão activado, alguns sais, etc. O valor de R é de ordem de grandeza de 0,25 mm).

Os filtros são constituídos por uma caixa prismática ou cilíndrica, podendo esta, ser colocada com o eixo vertical ou horizontal e tendo a espessura e_1 da camada filtrante valores compreendidos entre 60 a 120 cm.

Os filtros classificam-se em lentos e rápidos e os úlimos podem ser abertos (em que a pressão é dada por uma coluna de líquido) e fechados (em que a pressão é obtida por meio de uma bomba e pode atingir valores até 4 kg/cm^2).

A capacidade dos filtros lentos é aproximadamente igual a 0,03 litros por segundo e por metro quadrado, o que corresponde ao valor de $U = 3 \times 10^{-3}$ m seg^{-1} = 2,4 m/dia; para os filtros rápidos pode contar-se com uma capacidade compreendida entre 1 a 3 litros por segundo e por metro quadrado ou seja U compreendido entre 0,1 a 0,3 em seg^{-1}, ou seja 80 a 240 m/dia.

Os filtros têm de ser lavados, periòdicamente, fazendo circular líquido filtrado em sentido inverso do de filtração [1].

d) *Filtros de tecidos*

Como já se viu, os tecidos não servem, em geral, para serem utilizados como único material filtrante. No entanto, podem utilizar-se para a filtração de gases fazendo-os passar através de sacos de pano onde são retidas as partículas em suspensão.

Periòdicamente, é interrompida a passagem do gás de modo a sacudir os sacos e retirar as partículas retidas. Em geral, estas operações são automáticas [2].

---

[1] Para um estudo mais detalhado destes filtros ver «Theory and Pratice of Filtration» de Dickey e Dryden, pág. 202 a 220.

[2] Ver, por exemplo, «Elements of Chemical Engineering» de Badger e Mc. Cabe, pág. 567 a 569.

CAPÍTULO III

FILTRAÇÃO ATRAVÉS DOS BOLOS FORMADOS

a) *Generalidades*

Em primeira aproximação, admitindo que os bolos são incompressíveis, como no caso dos filtros de materiais soltos, será válida a equação

$$-\Delta p = \frac{2\mu e U}{r^2} = \frac{2 k \mu e_1 U}{r^2},$$

sendo k o coeficiente de proporcionalidade entre e e e_1, como se viu no capítulo anterior.

Mas, neste caso, a espessura e_1 não é constante, mas aumenta à medida que o precipitado se vai depositando e o seu valor em cada instante será, evidentemente, proporcional ao volume total de líquido V que atravessou o filtro até esse instante, isto é,

$$e_1 = \Psi V$$

Por outro lado, será,

$$U = \frac{Q}{S} = \frac{\frac{dV}{dt}}{S}.$$

Ter-se-á, portanto,

$$-\Delta p = \frac{2 k \Psi \mu V \frac{dV}{dt}}{r^2 S}$$

Substituindo este valor, na fórmula

$$U = \sqrt{2 g \frac{p - \Delta p}{\gamma}} = \sqrt{\frac{2(p + \Delta p)}{\rho}}$$

será

$$\frac{\left(\frac{dV}{dt}\right)^2}{S^2} = \frac{2}{\rho}\left(p - \frac{2 k \Psi \mu V}{r^2 S} \cdot \frac{dV}{dt}\right)$$

Fazendo

$$\frac{2 S^2}{\rho} = K_1 \quad e \quad \frac{2 k \Psi \mu S}{\rho r^2} = K_2,$$

vem

$$\left(\frac{dV}{dt}\right)^2 + 2 K_2 V \frac{dV}{dt} - K_1 p = 0;$$

Logo

$$\frac{dV}{dt} = -K_2 V + \sqrt{K_2^2 V^2 + K_1 p} =$$

$$= K_2 V \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{K_1 p}{K_2^2 V^2}}\right)$$

Integrando, tem-se

$$t = \int_0^V \frac{dV}{K_2 V \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{K_1 p}{K_2^2 V^2}}\right)},$$

Este integral é difícil de calcular e, portanto, há conveniência em simplificá-lo, desenvolvendo o radical em série de Mc Laurin, segundo as potências de $\frac{K_1 p^2}{K_2^2 V^2}$; ter-se-á

$$\sqrt{1 + \frac{K_1 p}{K_2^2 V^2}} = 1 + \frac{K_1 p}{2 K_2^2 V^2} - \frac{K_1^2 p^2}{8 K_2^4 V^4} + \dots$$

Portanto, fica

$$t = \int_0^V \frac{dV}{K_2 V \left(\frac{K_1 p}{2 K_2^2 V^2} - \frac{K_1^2 p^2}{8 K_2^4 V^4} + \dots\right)} =$$

$$= \int_0^V \frac{dV}{\frac{K_1 p}{2 K_2 V} - \frac{K_1^2 p^2}{8 K_2^3 V^3} + \dots}$$

No instante inicial, V = o e, portanto, será

$$\frac{dV}{dt} = \sqrt{K_1 p}.$$

À medida que a filtração prossegue, admitindo que p é constante, o termo K_1 p mantém-se constante e K_2 V cresce ràpidamente; por isso, no desenvolvimento em série, são desprezíveis os termos em que V

tenha expoente superior à unidade e, portanto, fica, finalmente,

$$t = \int_0^V \frac{2\,K_2\,V\,dV}{K_1\,p} = \frac{K_2\,V^2}{K_1\,p} \quad (^1)$$

b) *Equação para bolos compressíveis*

Neste caso, não se verifica a estrutura geométrica que foi estudada, porque as partículas se deformam por efeito da pressão a que estão sujeitas; nestas condições, verificam-se as seguintes alterações nos raciocínios feitos:

1) O valor de e_1 deixa de ser proporcional a V, e passa a ter valores inferiores; a nova relação entre e_1 e V pode exprimir-se, em primeira aproximação por

$$e_1 = \psi\,V^m,$$

sendo m, evidentemente, menor que a unidade (pode tomar-se, em geral, m = 0,8)

2) O coeficiente k deixa de ter significado, mas pode continuar a utilizar-se com o mesmo valor, por não ser possível dar-lhe valores mais exactos.

3) O valor de $\bar{r}$ deixa de ser proporcional a R, porque a relação de passagem e o perímetro diminui à medida que as partículas se vão deformando por acção da pressão; sendo assim, pode estabelecer-se entre $\bar{r}$ e R uma relação do tipo

$$\bar{r} = \xi\,R,$$

sendo ξ função da pressão.

Admitindo, em primeira aproximação, que ξ é da forma

$$\xi = \frac{\zeta}{p^s}$$

será

$$\bar{r} = \zeta\,p^{-s}\,R$$

sendo ζ uma constante com as dimensões

$$[\zeta] = [p^s] = [L^s\,M^{-s}\,T^{2s}]$$

---

(1) Para concretizar melhor este resultado é vantajoso analisar um exemplo. Suponhamos que se pretendem filtrar, à pressão de 3 kg/cm², 30 m³ de um liquido, com 600 kg. de precipitado com uma granulometria de 1 mm, cuja densidade aparente sobre as superfícies filtrantes é 1,2, e que a área destas superfícies é de 0,25 m² cada uma. O volume v do precipitado transportado por metro cúbico de suspensão será $v = \frac{600}{30 \times 1200} = 0{,}0167\ m^3$, a que corresponde a espessura $e_1 = \frac{0{,}0167}{0{,}25} = 0{,}067\ m$. Será, portanto,

$$\psi = \frac{e_1}{V} = \frac{6{,}7}{10^6} \cdot \frac{cm}{cm^3} = 6{,}7 \times 10^{-6}\ cm^{-2}$$

Por outro lado, tomando para k o valor 1,3 correspondente a $\delta = 60°$; calculando γ pela expressão

$$\gamma = \frac{600 + \left(30 - \frac{600}{1200}\right) \times 1000}{30} = 1003\ Kgm^{-3} \sim 1000$$

Kgm^{-3}, a que corresponde $\rho = 1 gr\ cm^{-3}$; admitindo para μ o valor $\mu = 1$ centipoise e calculando $\bar{r}$ pela expressão do capítulo anterior,

$$\bar{r} = 0{,}025\ R = 0{,}025 \times \frac{1}{2} = 0{,}0125\ mm = 1{,}25 \times 10^{-3}\ cm,$$

ter-se-á

$$K_1 = \frac{2S^2}{\rho} = \frac{2 \times (2500)^2}{1} \cdot \frac{cm^4}{gr\ cm^{-3}} = 1{,}250 \times 10^7\ gr^{-1}\ cm^7$$

$$K_2 = \frac{2\,k\,\psi\,\mu\,S}{\rho\,\bar{r}^2} = \frac{2 \times 1{,}3 \times 6{,}7 \times 10^{-6} \times 10^{-2} \times 25 \times 10^2}{1 \times 1{,}57 \times 10^{-6}} \cdot$$

$$\cdot \frac{cm^{-2} \cdot cm^{-1}\ gr\ seg^{-1} \cdot cm^2}{gr\ cm^{-3} \cdot cm^2} = 280\ seg.^{-1}$$

A função integranda será

$$f(V) = \frac{1}{-280\,V + \sqrt{7{,}84 \times 10^4\,V^2 + 1{,}250 \times 10^7\,p}},$$

cujos valores são dados no quadro seguinte, sendo $p = 3\ Kg\ cm^{-2} = 29{,}4 \times 10^5\ cm^{-1}\ gr\ seg^{-2}$.

V em cm³	f (V) em cm⁻³ seg.
0	$0{,}167 \times 10^{-6}$
$0{,}25 \times 10^6$	$3{,}8 \times 10^{-6}$
$0{,}5 \times 10^6$	$7{,}6 \times 10^{-6}$
$0{,}75 \times 10^6$	$11{,}5 \times 10^{-6}$
1×10^6	$15{,}4 \times 10^{-6}$

Entrando com estas alterações na resolução do problema, verifica-se que o termo $K_1 p = \frac{2 S^2}{\rho} p$ se mantém e que $K_2 V$ toma a forma

$$K_2 V = \frac{2 k \psi \mu V^m p^{2s}}{\zeta^2 R^2 S}$$

Portanto, a expressão do tempo será

$$t = \int_0^V \frac{4 k \psi \mu V^m p^{2s}}{K_1 \zeta^2 R^2 S p} dV =$$

$$= \int_0^V \frac{4 k \psi \mu}{K_1 \zeta^2 R^2 S} \cdot \frac{V^m}{p^{1-2s}} dV$$

Fazendo

$$\frac{4 k \psi \mu}{\zeta^2 R^2 S} = K_3, \quad e \quad 1 - 2 s = n,$$

vem finalmente,

$$t = \int_0^V \frac{K_3 V^m}{K_1 p^n} dV,$$

que é a fórmula de Lewis e Almy a qual, no caso da pressão ser constante dá

$$t = \frac{K_3 V^{m+1}}{(m+1) K_1 p^n}$$

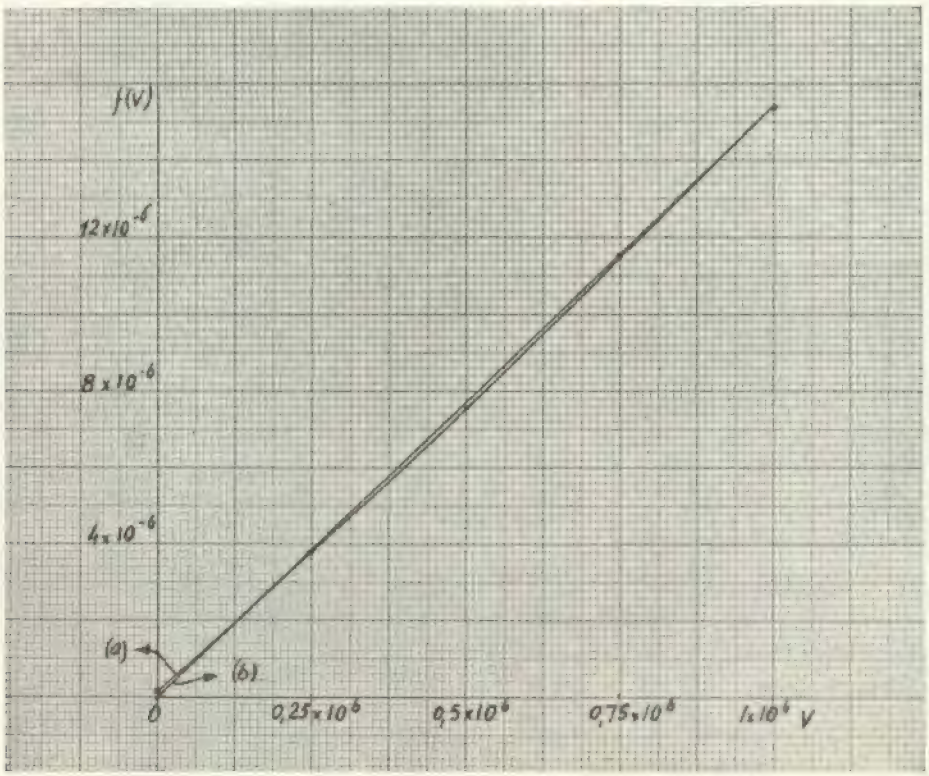
Resta determinar os valores de ζ e s.

Para s pode fazer-se um raciocínio grosseiro que consiste em admitir que, se as deformações em volume forem proporcionais à pressão, as deformações lineares serão proporcionais à raiz cúbica da pressão, sendo, portanto, $s \sim \frac{1}{3} = 0{,}33$.

Nota: Não interessa ir a valores de V superiores porque para $V = 1 \times 10^6$, já $e_1 = 6{,}7$ cm e, em geral e_1 não excede 5 cm, como vimos.

A curva f (V) é dada no gráfico seguinte (a):

A função simplificada será $f_1(V) = \frac{2 K_2 V}{K_1 p} = 4{,}47 \times \times 10^{-5} \frac{V}{p} = 15{,}4 \times 10^{-12} V$.



Para determinar ζ, pode proceder-se, aproximadamente do seguinte modo:

Sedimenta-se ou filtra-se uma pequena porção de líquido e deita-se o precipitado separado, num corpo de bomba de vidro, onde ocupará a altura H; como não há pressão exterior pode supor-se que a disposição das partículas corresponde à disposição solta.

Para obter a disposição mais apertada, a altura deverá ser reduzida a cerca de 0,8 H, que é a relação das alturas dos romboedros nos dois casos limites (como vimos é $\frac{h_{60}}{h_{90}} = \frac{1{,}63\ R}{2\ R} \sim 0{,}8$). Esta redução de altura pode conseguir-se com um êmbolo que comprima o precipitado de encontro à base do corpo de bomba a qual terá de ser construída em material filtrante, a fim de deixar passar o líquido e reter as partículas sólidas; a pressão p_i correspondente à altura 0,8 H será a pressão no início da deformação e, portanto, como o valor de $\bar{r}$, no caso da disposição mais apertada é 0,05 R, como vimos, será

$$\zeta = \frac{0{,}05\ R}{R} (p_i)^s = (0{,}05\ p_i)^{1/3} = 0{,}37 \sqrt[3]{p_i}$$

Os valores de s, na prática, aproximam-se bastante do valor teórico aproximado, como se mostra no quadro II.

QUADRO II

Precipitado	s
$(OH)^3$ Al	0,340
$(OH)^3$ Fe	0,345
$(OH)^3$ Cr	0,405
CrO^4 Zn	0,360

Nota: Estes valores são valores médios.

Como não há precipitados completamente incompressíveis é natural que, mesmo para os que são classificados como tal, s tenha um valor diferente de zero, embora pequeno; assim, para CO^3Mg e CO^3Co, os seus valores são respectivamente 0,05 e 0,07.

Na prática, pode tomar-se em geral, s=0,075 para bolos incompressíveis e s=0,33 para bolos compressíveis.

c) *Influência do material de suporte*

Como vimos, o precipitado deposita-se sobre redes metálicas ou sobre tecidos cujas

---

Os valores de f_1 (V) em função de V são dados no quadro seguinte:

V em cm^3	f_1 (V) em cm^{-3} seg
0	0
$0{,}25 \times 10^6$	$3{,}85 \times 10^{-6}$
$0{,}5 \times 10^6$	$7{,}70 \times 10^{-6}$
$0{,}75 \times 10^6$	$11{,}5 \times 10^{-6}$
1×10^6	$15{,}4 \times 10^{-6}$

A curva f_1 (V) é dada no gráfico anterior (b).

O tempo necessário para atingir uma espessura de 5 cm de bolo, obtém-se, calculando prèviamente, o valor de V correspondente, que será $V = \frac{e_1}{\zeta} =$

$$= \frac{5}{6{,}7 \times 10^{-6}} \cdot \frac{cm}{cm^{-2}} = 0{,}75 \times 10^6\ cm^3$$

Portanto

$$t = \frac{280 \times 0{,}56 \times 10^{12}}{1{,}25 \times 10^7 \times 29{,}4 \times 10^5} \frac{seg^{-1} \cdot cm^6}{gr^{-1} cm^7 \cdot cm^{-1} gr\, seg^{-2}} =$$

$= 4{,}25$ segundos.

O valor achado corresponde a um caudal médio Q de valor

$$Q = \frac{0{,}75}{4{,}25} \frac{m^3}{seg} = 0{,}176\ m^3\ seg^{-1} = 176 \text{ litros/seg.}$$

valor que é, evidentemente, exagerado e não está de acordo com os valores usuais da prática. As razões deste facto são as seguintes:

1) Ter-se admitido para granulometria das partículas 1 mm, quando, na realidade, a granulometria dos precipitados é menor em geral. Nestas condições, supondo, por exemplo, que a granulometria é de 0,2 mm, $\bar{r}$ será 5 vezes menor e K_2 25 vezes maior, o que dá, para t, o valor $t = 25 \times 4{,}25 = 107$ seg. e para o caudal médio, Q = 7 litros/segundo.

2) Ter-se admitido que o bolo é completamente incompressível, o que não se verifica, nunca, na prática.

malhas vão sendo tapadas com partículas de precipitado, dando origem a mais uma perda de pressão que será, também, da forma

$$-\Delta' p = \frac{2\,\mu\, e' U}{\overline{r'}^2} = \frac{2\,\mu\, e' \frac{dV}{dt}}{\overline{r'}^2 S}$$

Neste caso, e' é a espessura do material de suporte e $\overline{r'} = \frac{l^2}{4\,l} = \frac{l}{4}$, sendo l a abertura das malhas da rede ou do tecido. Mas, à medida que a pressão aumenta, as malhas vão sendo obstruídas pelas partículas e, portanto o valor de $\overline{r}$ diminui como no caso dos bolos compressíveis, tendo uma expressão de forma equivalente à dos bolos

$$\overline{r'} = \zeta' p^{-s'} l$$

Admitindo (o que, aliás, é muito arbitrário) que para p igual a p_i é ainda $\overline{r} = \frac{l}{4}$, será

$$\zeta' = \frac{(p_i)^{s'}}{4}$$

A perda de pressão total será

$$-\Delta p - \Delta' p = \frac{2\,\mu}{S}\left(\frac{k\,\Psi\, V}{\overline{r}^2} + \frac{e'}{\overline{r'}^2}\right)\frac{dV}{dt}$$

Substituindo na expressão da velocidade, será, como anteriormente,

$$\left(\frac{dV}{dt}\right)^2 = \frac{2\,S^2}{\rho}\left[p - \frac{2\,\mu}{S}\left(\frac{k\,\Psi\, V}{\overline{r}^2} + \frac{e'}{\overline{r'}^2}\right)\frac{dV}{dt}\right]$$

Fazendo ainda

$$K_1 = \frac{2\,S^2}{\rho}$$

e $$K_4 = \frac{2\,S\,\mu}{\rho}\left(\frac{k\,\Psi}{\overline{r}^2} + \frac{e'}{\overline{r'}^2\, V}\right), \text{ vem}$$

$$\left(\frac{dV}{dt}\right)^2 = -K_4 V + \sqrt{K_4^2 V^2 + K_1 p}$$

Separando as variáveis e fazendo um desenvolvimento em série [1], análogo ao anterior, ter-se-á

$$t = \int_0^V \frac{2\,K_4\, V\, dV}{K_1\, p} = \int_0^V \frac{2\,(K_2 V + K_5)}{K_1\, p}\, dV$$

sendo

$$K_5 = \frac{2\,S\,\mu\, e'}{\rho\, \overline{r'}^2}$$

Mas, como vimos é $\overline{r'} = \zeta' p^{-s'} l$

Portanto,

$$K_5 = \frac{2\,S\,\mu\, e'}{\rho\, \zeta'^2\, p^{-2s'}\, l^2} = K_6\, p^{2s'}$$

Representando $1 - 2\,s'$ por n', ter-se-á

$$t = \int_0^V \frac{2\,K_2\, V + K_6\, p^{2s'}}{K_1\, p}\, dV = \frac{K_2\, V^2}{K_1\, p} + \frac{K_6\, V}{K_1\, p^{n'}}$$

No caso de bolos compressíveis, será finalmente

$$t = \int_0^V \frac{K_3\, V^m\, p^{2s} + K_6\, p^{2s'}}{K_1\, p}\, dV =$$

$$= \int_0^V \left(\frac{K_3\, V^m}{K_1\, p^n} + \frac{K_6}{K_1\, p^{n'}}\right) dV$$

No caso da pressão ser constante,

$$t = \frac{K_3\, V^{m+1}}{(m+1)\, K_1\, p^n} + \frac{K_6\, V}{K_1\, p^n}$$

Para s' pode tornar-se o valor $s' = 2$ para os panos de filtro e $s' = \frac{1}{2}$ para as redes metálicas.

d) *Tipos de filtros*

Como vimos, os filtros de bolo classificam-se em filtros de pressão e filtros de vácuo.

---

[1] Este desenvolvimento em série não é rigorosamente legítimo porque K_4 contém V; mas como o segundo termo é pequeno em relação ao primeiro, o erro introduzido é desprezível.

1) *Filtros de pressão*

Subdividem-se em filtros-prensa, filtros de placas e prensas.

I) *Filtros-prensa*

São constituídos por uma série de molduras sobrepostas, alternadamente sem quadro e com quadro, e sobre estes últimos, que comunicam pela parte inferior com uma torneira, colocam-se os panos de filtro (fig. 5).

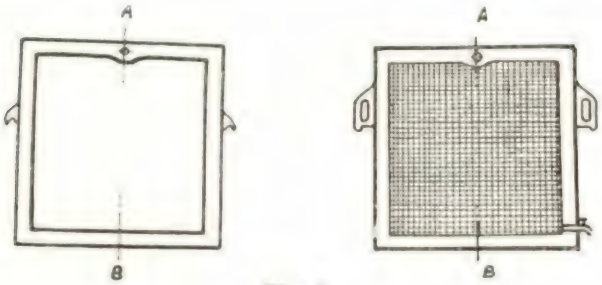


Fig. 5

O corte transversal das molduras por AB é indicado na fig. 6.

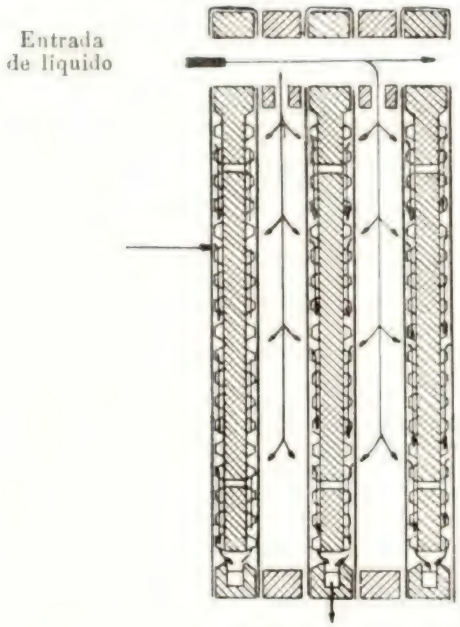


Fig. 6

O filtrado que sai pelas torneiras é reunido numa calha ou num tubo que acompanha o filtro perpendicularmente aos quadros.

As molduras, a que é custume dar o nome de quadros, são apertadas por meio de um parafuso ou por pressão hidráulica.

Valores usuais [1].
Pressão: $p < 70$ kg/cm²
Lado dos quadros: 0,1 m a 1,5 m
Número de quadros: < 40
Espessura dos bolos: 1 cm a 5 cm.

II) *Filtros de placas*

São formados por uma série de superfícies filtrantes sobrepostas, constituídas por uma rede metálica sobre a qual assentam o material filtrante, constituindo um saco que comunica, por uma das extremidades com a canalização de saída (fig. 7).

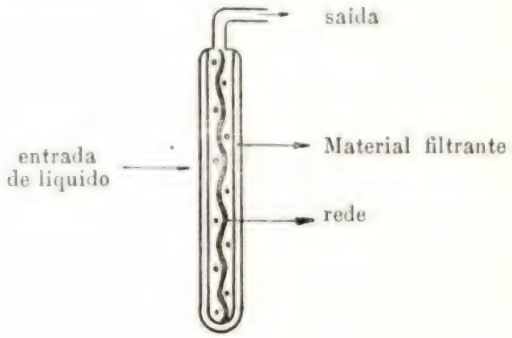


Fig. 7

Estas superfícies são colocadas no interior de uma superfície cilíndrica, na qual entra o líquido a filtrar. A sua disposição pode ser paralela ou perpendicular ao eixo do cilindro, constituindo respectivamente os tipos Kelly e Sweetland [2]; no primeiro caso, as superfícies são rectangulares, e no segundo, circulares.

Valores usuais:

Filtros de tipo Kelly:

Pressão: $p < 15$ kg/cm²
Número de placas: ~ 10
Area total das placas: < 50 m²

Filtros de tipo Sweetland:

Pressão: < 3 kg/cm²
Número de placas: < 40
Area total das placas: < 100 m³
Diâmetro do cilindro: < 1 m.

---

(1) Para maior detalhe ver «Theory and Practice of Filtration», de Dickey e Dryden, pág. 110.

(2) Para mais detalhes ver «Theory and Practice of Filtration», de Dickey e Dryden, pags. 110 a 129.

III) *Prensas*

Como se viu, a porosidade duma estrutura granular varia, em geral, entre 0,48 a 0,26 e, portanto, a percentagem de líquido que fica nos bolos é muito elevada. Para diminuir esta quantidade de líquido, podem submeter-se os bolos formados a pressões mais elevadas; a operação, neste caso, tem o nome de *prensagem* e efectua-se *em prensas* (1).

A pressão pode obter-se por parafusos sem fim (2) (30 a 50 kg/cm²) ou por meio de bombas de óleo (até 400 kg/cm²). No segundo caso, as prensas podem ser abertas ou fechadas, sendo, na primeira, a substância a prensar contida dèntro de um pano e, na segunda, introduzida directamente dentro do corpo da prensa, que tem na parede interior uns orifícios de escoamento do líquido para dentro de um canal. Em qualquer destes dois tipos a substância prensada é introduzida em estratos, de modo a obter bolos com 1 a 2 cm de espessura; em geral, a secção dos bolos é quadrada, com 20 a 30 cm de lado.

A pressão do óleo obtém-se por meio de bombas de êmbolo mergulhante e é regulada por meio de acumuladores (3).

2) *Filtros de vácuo*

Como já vimos, os filtros de vácuo são, em geral, contínuos; neste caso, é evidente que a pressão do filtro é sempre inferior à atmosférica. Os tipos mais importantes são os de correia e os rotativos.

I) *Filtros de correia*

O material de suporte é constituído por uma correia, sob o qual se faz o vácuo. As dimensões determinam-se conjugando a teoria de filtração com a dos transportadores de correia.

(1) As prensas podem ser utilizadas sem ser com o objectivo de filtração, como, por exemplo, para obter óleos a partir de sementes (azeite, óleo de mendobi, óleo de ricino, etc.)

(2) No caso de prensagem de óleos dá-se a estas prensas o nome de «expellers».

(3) Para informações mais detalhadas, ver «Theory and Practice of Filtration», de Dickey e Dryden».

II) *Filtros rotativos*

Podem ser de tambor ou de discos.

α — *Filtros de tambor*

São constituídos por duas superfícies cilíndricas concêntricas de raios pouco diferentes e em que a coroa cilíndrica é dividida num certo número de partes iguais, como se mostra na secção transversal indicada na figura 8, as quais são tapadas nas

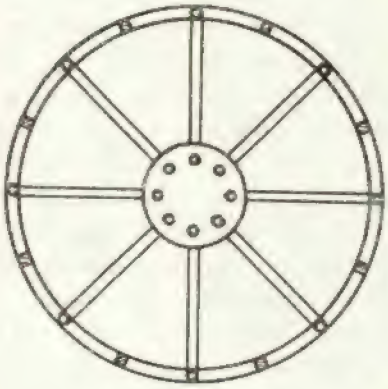


Fig. 8

extremidades constituindo um certo número de compartimentos fechados. A cada um destes compartimentos liga-se um tubo de vácuo com disposição radial, e todos estes tubos se reunem num disco central com um número de orifícios igual ao número de tubos. Este disco central está apertado contra um disco de igual diâmetro com dois orifícios diferentes como se indica na figura 9.

Fig. 9

Este orifícios têm uma distância ao centro igual à dos tubos de primeira placa, estando o maior ligado à canalização de vácuo e o menor ligado a uma canalização de pressão.

O conjunto do tambor, dos tubos e do disco central têm um movimento de rotação em torno do eixo e, portanto os orifícios dos tubos estão alternadamente em contacto com as canalizações de vácuo e de pressão,

a fim de se efectuar respectivamente a filtração e a separação dos bolos.

É evidente que o filtrado segue pela canalização de vácuo e, portanto, tem de haver um tanque em que o filtrado seja separado, e do qual é retirado por meio de bombas; por outro lado, o vapor do líquido tem de ser também separado, para o que há a seguir ao tanque do filtrado, um condensador barométrico (ver artigo sobre Secagem, a publicar). O vácuo é produzido, em geral, por meio de um compressor de movimento alternativo e a pressão na canalização de pressão por outro compressor do mesmo tipo, mas de potência menor.

A alimentação do filtro faz-se por meio de bombas que lançam o líquido num semi-cilindro de eixo coincidente com o tambor e no qual este está mergulhado, ou no interior do próprio tambor se este for ôco. No primeiro caso, a superfície exterior da coroa cilíndrica é constituída pelo pano de filtro ou pela rede filtrante, o movimento é comunicado a um veio central e o filtro tem o nome de filtro Oliver; no segundo caso o pano de filtro ou a rede constituem a superfície interior da coroa, o movimento obtém-se por meio de roletes sobre os quais o tambor assenta (como no caso dos misturadores), e o filtro tem o nome de filtro Dorrco).

β — *Filtros de discos*

São semelhantes aos anteriores, mas, em vez do tambor, são constituídos por uma série de discos ôcos sobrepostos, divididos em vários sectores, cada um dos quais ligado a um tubo de vácuo (fig. 10).

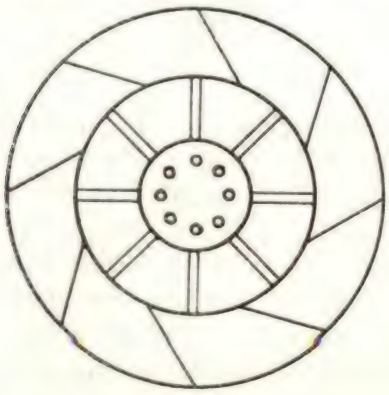


Fig. 10

Os panos de filtros são colocados de ambos os lados do disco [1].

Valores usuais:

Número de rotações: 1 a 60 r. p. m.
Espessura dos bolos: ~ 2,5 cm

Dimensões aproximadas:

Filtros Oliver: Diâmetro (de 30 cm a 4,5 m); comprimento (de 30 cm a 6 m)
Filtros Dorrco: Diâmetro (1 m a 4 m); comprimento (de 30 cm a 1,5 m)
Filtros de discos: Diâmetro (1,5 m a 4 m); número de discos (5 a 10)

e) *Lavagem dos precipitados*

Quando o filtrado contém substâncias que não podem ser separadas por secagem e, além disso, o precipitado tem de ficar completamente separado dessas substâncias, é necessário fazer a lavagem dos bolos depois de formados, em geral, com água. Os processos de lavagem são descritos nos livros indicados na Bibliografia.

f) *Escolha dos tipos de filtros*

A escolha do tipo a empregar, em cada caso, depende, fundamentalmente, do valor económico do precipitado e da sua quantidade. Com efeito, comparando os preços de primeira instalação e de mão de obra, verifica-se que a primeira despeza é maior para os filtros de vácuo, seguindo-se os de placas e, finalmente, os filtros-prensa, e que a segunda varia em sentido inverso. Por isso, só o estudo detalhado de cada caso particular permite determinar qual o tipo de filtro que deve ser empregado; aliás, a prática tem estabelecido esses tipos, de uma maneira geral. Deve notar-se, no entanto, que quando se exigem pressões superiores a 1 kg/cm^2, não podem utilizar-se os filtros de vácuo.

[1] Para detalhes sobre filtros rotativos ver «Theory and Practice of Filtration», de Dickey e Dryden, págs. 139 a 158, «Las operaciones y los aparatos quimicos», de González del Tanago, tomo II, págs. 540 a 567, e o Boletim n.º 8181, «Vacuum Filtration», da casa Oliver Company, Limited, de Londres.

No livro já citado «Theory and Practice of Filtration», de Dickey e Dryden, faz-se uma análise das vantagens e inconvenientes dos diferentes tipos de filtro, à medida que vão sendo descritos.

BIBLIOGRAFIA

«Elements of Chemical Engineering», de Badger e Mc Cabe.

«Der Chemie Ingenieur», de Eucken Jakob,

«Las Operaciones y los Aparatos Quimicos», de J. González del Tánago.

«Theory and Practice of Filtration», de George Dickey e Charles Dryden, edição da Reinhold Publishing Corporation.

«Principles of Chemical Engineering», de Walker, Lewis, Mc Adams e Gilliland, edição da Mc Graw-Hill Book Company.

Notícia sobre o Laboratório de Tratamento de Minérios do Instituto Superior Técnico

ERRATA

Páginas	Coluna	Linha	Onde se lê	Leia-se
158	II	3	tantas	tentar
160	II	22	that is	that it is
160	II	23	interest organize	interest to organize
160	II	23	a Ore	an Ore
160	II	24	teatching	teaching
160	II	25	avaluable	a valuable
160	II	25	contribution for the	contribution to the
160	II	33	a lot of	many
160	II	35	enought	enough

V Exposição Fotográfica do Instituto Superior Técnico

REGULAMENTO

1.º Admitem-se como concorrentes:

a) Os alunos de escolas superiores de engenharia
b) Os engenheiros inscritos na «Ordem dos Engenheiros».

2.º São admitidos os trabalhos que já tenham figurado noutra exposição ou concurso, excluindo-se, porém, as provas já apresentadas em anteriores certames do I. S. T.

3.º As fotografias serão classificadas (pelos concorrentes) em duas categorias:

a) Técnica
b) Artística

4.º Nos trabalhos apresentados apenas é permitido escrever a divisa ou pseudónimo do concorrente, conforme o artigo 6.º, sendo o verdadeiro nome enviado, juntamente com a prova, em sobrescrito fechado. Nesse mesmo sobrescrito virá também o pseudónimo do concorrente, para identificação dos trabalhos.

5.º O formato mínimo admitido é o de 13 × 18 ou 18 × 18 centímetros.

6.º Só serão aceites as provas montadas em cartão ou cartolina branco, com margem mínima de 5 centímetros, no verso do qual será escrito o pseudónimo ou divisa e sempre sem qualquer moldura ou vidro.

7.º Podem as provas ser coloridas por qualquer processo de «viragem», excluindo-se aquelas que forem coloridas à mão.

8.º Podem os concorrentes retirar os trabalhos expostos a partir do prazo de um mês, a contar da data do encerramento da Exposição. Não o fazendo serão devolvidos pelo correio (porte grátis).

9.º Os trabalhos enviados à Exposição poderão ser reproduzidos na «Técnica».

10.º Haverá um júri de admissão dos trabalhos apresentados, que procederá também à sua classificação para atribuição de prémios.

11.º Haverá o máximo cuidado com as fotografias recebidas, mas não se assume qualquer responsabilidade por danos que possam sofrer.

12.º As fotografias serão enviadas à Secção Fotográfica dos Alunos do Instituto Superior Técnico, Avenida Rovisco Pais, Lisboa.

13.º O prazo de recepção dos trabalhos **termina a 25 de Abril** do corrente ano.

14.º Os casos omissos neste regulamento serão resolvidos pelo júri, e as suas decisões inteiramente acatadas.

Oportunamente será anunciada a data da abertura da Exposição, bem como a constituição do júri e a lista dos prémios.

Processos unitários da química orgânica

NITRAÇÃO

PELO ENG.º QUÍMICO-INDUSTRIAL MANUEL CHAGAS ROQUETTE

(Assistente I. S. T.)

C D 661.7

A nitração é uma reacção total, mas lenta, normalmente exotérmica, em que se efectua a introdução na molécula orgânica de um ou mais grupos NO_2 ou NO_3, por acção dos chamados agentes de nitração:

$$RH + NO_3H \rightarrow RNO_2 + OH_2$$
$$ROH + NO_3H \rightarrow RNO_3 + OH_2$$

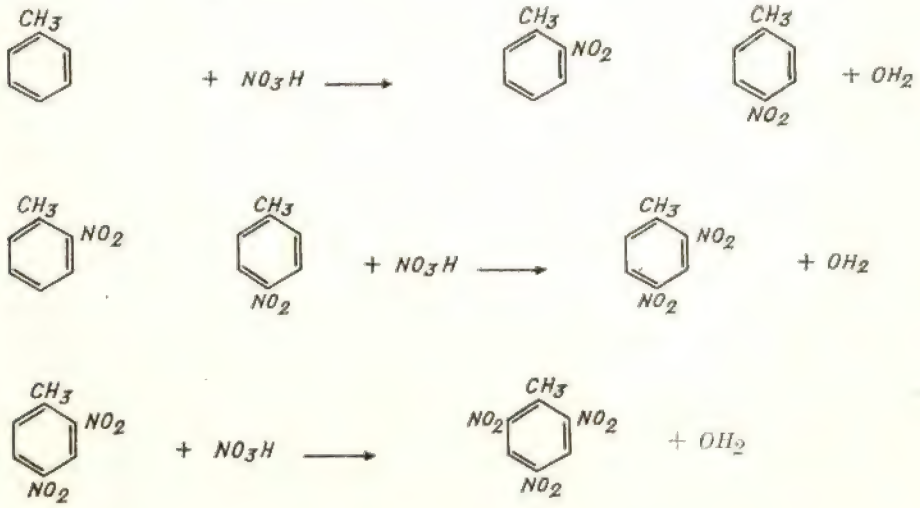
É corrente serem consideradas as transformações do último tipo como esterificações do ácido azótico, conduzindo a nitratos de alquilo.

No entanto existe identidade de técnica, reagentes e até de aparelhagem entre estas últimas reacções e as nitrações pròpriamente ditas, em que se efectua a substituição de átomos de H por grupos nitro. Será portanto lógico que o seu estudo se faça juntamente.

Para confirmar que se trata duma reacção total às temperaturas ordinárias, ainda que lenta, basta dizer que até hoje não tem sido possível hidrolizar derivados nitrados como o nitro-benzeno, em água ou em ácido diluido, a temperaturas até cerca de 100°C.

Quase nunca se efectua directamente uma di — ou trinitração. O derivado trinitrado prepara-se a partir do dinitrado, que por sua vez se obteve por nitração do mononitrado.

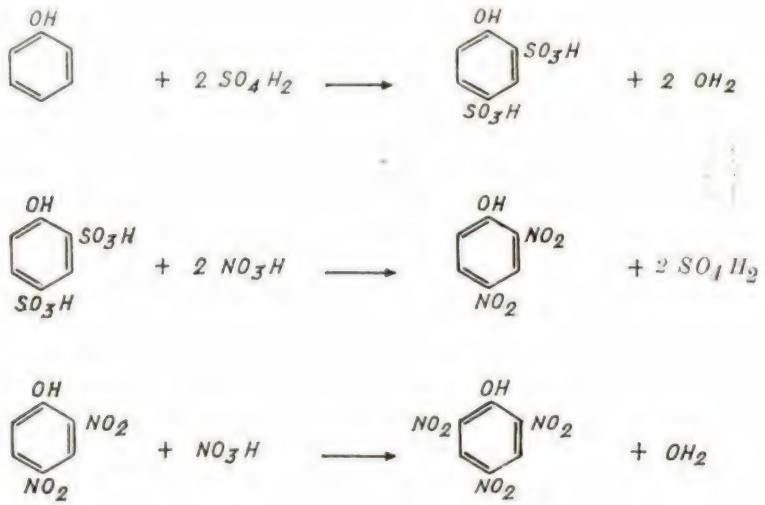
Temos, como exemplo, a nitração gradual do tolueno, até à forma trinitro-tolueno:



Obtêm-se ainda derivados nitrados, e em particular os poli-nitrados, por reacções de dupla decomposição, a partir dos compostos sulfonados. Está dentro desta categoria a preparação industrial do ácido picrico:

Mesmo a polinitração obedece a este mecânismo, visto que a podemos considerar constituída por sucessivas mononitrações.

As nitracões dos derivados aromáticos e dos poliois efectuam-se na quase totalidade em fase líquida, empregando como agente



A nitração de substâncias aromáticas e poliois, sob o ponto de vista cinético, comporta-se como uma reacção da segunda ordem (bimolecular).

Se tivermos inicialmente *a* moléculas de substância Ar H a nitrar e *b* moléculas de NO_3H:

$$\underset{a}{Ar\,H} + \underset{b}{NO_3H} \rightarrow Ar\,NO_2 + OH_2$$

e se designarmos por x a quantidade (em moléculas) de derivado nitrado formado, teremos a seguinte equação diferencial, que traduz a cinética do processo:

$$\frac{dx}{dt} = K\,e^{-\frac{E}{RT}}\,(a - x)\,(b - x)$$

em que K é uma constante, E a energia de activação e R a constante dos gases perfeitos.

nitrante misturas de ácido sulfúrico-ácido azótico-água. São raras as técnicas que efectuam em fase vapor a nitração das substâncias aromáticas (um exemplo quase isolado é a nitração do benzeno pelo processo Othmer).

A obtenção dos derivados nitrados de alcanas e alcenas (fase vapor), constitui um capítulo à parte dentro da nitração, e será estudado quando nos referirmos aos reagentes.

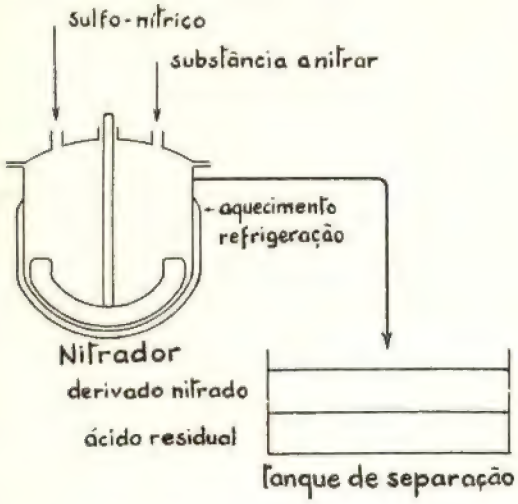
Este estudo vai pois focar, principalmente, a nitração em fase líquida, com ácido sulfo-nítrico. Trata-se duma reacção exotérmica num sistema heterogéneo, com uma fase ácida e uma fase orgânica.

Por vezes surgem 2 fases orgânicas: derivado nitrado e reagente orgânico que não reagiu.

Estas características apontam-nos imediatamente dois dos factores principais numa nitração: o controle da temperatura (refrigeração), e o aumento de superfície do contacto entre as 2 fases (agitação).

Esquemàticamente, uma nitração dum

poliol ou dum derivado aromático pode efectuar-se segundo o diagrama:



1 — Mecanismo da reacção

Na nitração interessam os factores cinéticos, e apenas secundàriamente aqueles factores que normalmente intervêm na Estática Química (excesso de reagente, eliminação de produto de reacção) e estes últimos apenas pela influência cinética que possam ter.

Estudaremos a acção no rendimento do processo de:

1) reagentes
2) temperatura
3) agitação
4) solubilidade do derivado nitrado na fase ácida

* * *

Eliminação dum produto da reacção

O produto geralmente eliminado é a água.

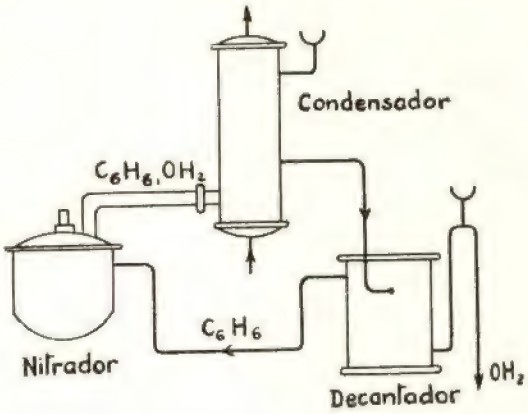
Efectua-se assim a nitração contínua do benzeno: é o próprio benzeno (em excesso) que, libertando-se do nitrador, arrasta consigo a água da nitração e dos reagentes, separando-se inferiormente uma camada aquosa num decantador, a qual é removida constantemente.

A camada superior, rica em benzeno volta ao refluxo para o vaso de nitração

É uma técnica pouco seguida.

Acção dos reagentes

Os principais agentes de nitração são: o ácido azótico ou óxidos de azoto, ácidos sulfo-nítricos (misturas de ácido azótico e ácido sulfúrico) nitratos orgânicos.



Consideremos a acção do ácido azótico: ao longo da operação de nitração, a sua concentração diminui (efeito estático), mas aumenta o poder oxidante das moléculas que ainda não reagiram (perigo da formação de produtos oxidantes — reacções secundárias), ainda que esse perigo seja consideràvelmente atenuado pela diminuição da concentração.

O ácido azótico teria uma actividade dual: funcionaria ao mesmo tempo como agente de oxidação e de nitração:

$$HONO_2 \rightleftharpoons NO_3H$$

forma pseudo ácido — forma ácido verdadeiro

A forma pseudo-ácido favorece a nitração; a forma ácido verdadeiro actua como oxidante. Além desta tautomeria, o NO_3H (ácido verdadeiro) encontra-se mais ou menos dissociado nos seus iões:

$$NO_3H \rightleftharpoons NO_3^- + H^+$$

Vejamos as variações das $^0/_0$ relativas destas diferentes formas com a concentra-

ção das soluções azóticas (à temperatura ambiente):

Normalidade do ácido	%	NO_3H		
		Pseudo-ácido	Ácido verdadeiro	Ácido ionizado
18 N	77,3	70	25	5
10 N	48,3	50	32	18

Relativamente a 100 unidade de peso da solução:

Normalidade	Forma oxidante	Forma nitrante
18 N	19,4	54,2
10 N	15,3	24,15

A percentagem da forma pseudo-ácido (agente de nitração) aumenta com a temperatura: assim, os vapores nítricos são agentes de nitração muito eficazes (nitração do benzeno pelos vapores de NO_3H, e das parafinas).

O ácido azótico, no entanto, isolado é quase sempre um mau agente de nitração e por isso empregam-se correntemente misturas de ácido sulfúrico, ácido azótico e água *(ácidos mixtos* ou *ácidos sulfo-nítricos)*.

Eis as principais vantagens do emprego, universalmente espalhado, do ácido sulfo-nítrico:

1 — é um agente económico de deshidratação (o SO_4H_2 fixa a OH_2 produzida na nitração)

2 — diminui e controla o poder oxidante do ácido azótico

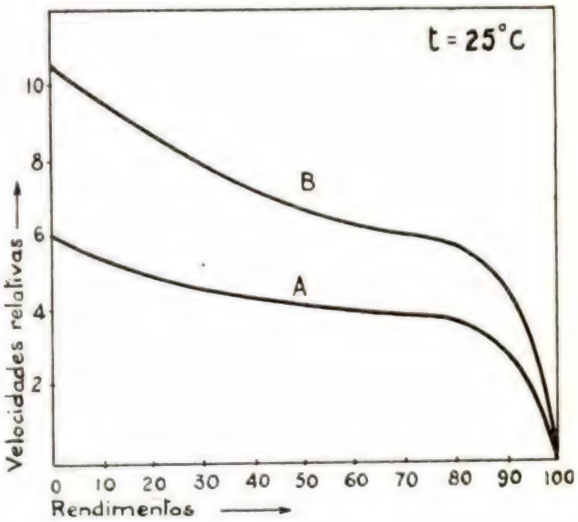
3 — é muito menos corrosivo do que o NO_3H

4 — dá origem a ácidos residuais, com possibilidade de recuperação ou de venda directa

5 — permite mais fácil dissipação e escoamento do calor libertado no processo

A acção do SO_4H_2 no ácido sulfo-nítrico é a dum autêntico catalizador da nitração: a velocidade na mononitração do benzeno aumenta de 3.000 vezes quando a concentração de sulfúrico sobe de 80 a 90 %.

A composição do ácido sulfo-nítrico tem uma acção decisiva no rendimento e velocidade da nitração. Uma ligeira diluição do ácido pela água pode provocar um enérgico efeito de inhibição, e mesmo para certas diluições a reacção cessa por completo.



$$NO_3H + C_6H_6 \rightarrow C_6H_5NO_2 + OH_2$$

A	NO_3H 8,55	(composições moleculares)	B	NO_3H 9,32
	SO_4H_2 21,28			SO_4H_2 21,35
	OH_2 70,17			OH_2 69,33

A velocidade de reacção é extremamente sensível à composição do ácido. Um aumento de 3 % do NO_3H em composição molecular é consequente diminuição de 3 % na OH_2 (composição molecular), no ácido sulfo-nítrico, conduz, em certos casos, a uma velocidade 10 vezes superior.

Acção deshidratante — D. V. S.

Existe um factor muito importante (D. V. S.) na nitração pelo ácido sulfo-nítrico, que se define do seguinte modo:

$$D.\ V.\ S. = \frac{SO_4H_2}{OH_2 \text{ reacção} + OH_2 \text{ reagentes}}$$

As iniciais D. V. S. explicam-se pela origem anglo-americana do termo «Dehydrating Value of Sulfuric Acid».

O controle do D. V. S. numa nitração é fundamental.

O valor de D. V. S. oscila entre 2 e 12, conforme o tipo de nitração, mas raramente excede 8. Diminui, quando aumenta o perigo de oxidação, e aumenta com o grau de nitração.

Uma diminuição da quantidade de SO_4H_2 no ácido sulfo-nítrico, numa determinada nitração, implica, em regra, uma menor acção deshidratante, e, por conseguinte, um aumento do valor de D. V. S.

Eis alguns valores correntes de D. V. S.

produto inicial	produto obtido	valores médios de D. V. S.
benzeno	nitro-benzeno	3,5
cloro-benzeno	nitro-cloro-benzeno	4
tolueno	nitro-tolueno	2,5
naftaleno	α-nitro-naftaleno	2

Ainda dentro duma determinada nitração, o valor de D. V. S. depende do tipo de processo. Assim, numa instalação contínua o valor de D. V. S., para o mesmo produto nitrado é superior àquele com que se trabalha em marcha descontínua.

* * *

O controle do D. V. S. na nitração dá-nos bons elementos de trabalho.

Estudemos o comportamento do D. V. S. na mononitração do benzeno. Trabalha-se com um D. V. S. entre 3,5 e 3,6. Admitamos que se utiliza um excesso de NO_3H de 5 %. A reacção é quase total ($\rho \approx 98$ %).

Teremos a seguinte relação entre o ácido azótico utilizado e o benzeno:

$$\frac{NO_3H}{C_6H_6} \cdot \frac{105}{100} = \frac{63}{78} \cdot \frac{105}{100} = 0{,}848$$

Utilizando um ácido com a composição (valores correntes na mononitração do benzeno):

NO_3H	32 %
SO_4H_2	60 %
OH_2	8 %
	100 %

A quantidade de benzeno, correspondente a 100 unidades (em peso) de sulfo-nítrico será:

$$\frac{32}{0{,}848} = 37{,}74 \ C_6H_6/100 \text{ sulfo-nítrico}$$

A quantidade de água libertada na reacção:

$$37{,}74 \times \frac{98}{100} \times \frac{18}{78} = 8{,}9$$

Valor de D. V. S.:

$$\text{D. V. S.} = \frac{60}{8{,}9 + 8} \approx 3{,}55$$

O ácido residual obtido nas condições indicadas teria a seguinte composição:

SO_4H_2	77 %
NO_3H	2 %
OH_2	21 %
	100 %

Temos assim a certeza de trabalharmos dentro das condições exigidas.

Consideremos agora, que se partia dum ácido sulfo-nítrico com a composição abaixo:

SO_4H_2	54 %
NO_3H	38 %
OH_2	8 %
	100 %

Designando por ρ o rendimento, a quantidade de OH_2 libertada na nitração será:

$$\frac{38}{0{,}848} \times \frac{\rho}{100} \times \frac{18}{78} = 10{,}2 \times \frac{\rho}{100}$$

Considerando que o ácido azótico é utilizado em excesso de 5 %

Expressão do D. V. S.:

$$\frac{54}{8 + 10{,}2 \times \frac{\rho}{100}}$$

Porque a quantidade de SO_4H_2 neste último ácido sulfo-nítrico é inferior, o seu valor deshidratante virá diminuído e portanto, neste segundo caso:

$$D.\ V.\ S. > 3{,}6$$

Logo:

$$\frac{54}{8 + 10{,}2 \times \frac{\rho}{100}} > 3{,}6$$

$$54 > 28{,}7 + 0{,}375\ \rho$$

$$\rho < 68$$

O rendimento baixará de 98 % para < 68 %, devido à variação de composição de ácido sulfo-nítrico e consequente aumento do D. V. S.

Excesso de reagente

Na nitração emprega-se o reagente ácido (azótico ou sulfo-nítrico) em ligeiro excesso: este não excede geralmente 10 % e cresce com o grau de nitração. Igualmente com o grau de nitração, cresce a % de NO_3H que não reagiu no ácido residual:

Produto inicial	Produto obtido	NO_3H real/ NO_3H teórico	Rendimento	% NO_3H no ácido residual
benzeno	nitro-benzeno	1,03	95%	0,3–1
benzeno	m-dinitro-benzeno	1,1	84%	1,2–1,5
tolueno	nitro-tolueno	1,1–1,09	96%	0,2–0,6
naftaleno	α-nitro naftaleno	1,01–1,03	95%	0,1–0,5

Ácidos residuais e intermédios

Durante a nitração há diminuição constante de ácido azótico e aumento de água. É fácil calcular a composição do ácido residual em qualquer fase da nitração. Deve vincar-se que o ácido sulfo-nítrico, ainda que sofrendo diluições constantes, continua a ser um bom agente de nitração.

Consideremos uma nitração em que um ácido sulfo-nítrico de composição A, reage com um hidrocarboneto C_mH_n, na proporção de 1/2 molécula kg de C_mH_n por 100 kg de sulfo-nítrico. No fim da operação recolhe-se um ácido residual de composição C. Este ácido terá, em relação às 100 unidades iniciais de sulfo-nítrico menos 0,5 kg-moles de ácido azótico (31,5 kg) e mais 0,5 kg moles de água (9 kg) (composição C). Um ácido correspondente a uma fase intermédia da operação terá uma composição situada entre as anteriores. Assim, o ácido B corresponderá a um rendimento da operação de 80%.

	Ácido A		Ácido B		Ácido C	
SO_4H_2	59,0	59%	59,0	72,0%	59,0	76,0%
NO_3H	32,5	32,5%	7,3	8,9%	1,0	1,4%
OH_2	8,5	8,5%	15,7	19,1%	17,5	22,6%
	100,0		82,0		77,5	

A análise num dado instante, durante a nitração, da fase ácida, pode dar-nos portanto, uma indicação do rendimento.

A utilização destes ácidos intermédios apresenta as seguintes vantagens:

1) têm elevada capacidade calorífica e baixo calor de diluição
2) permitem mais fácilmente a dissipação do calor de reacção no maior volume da marmita de nitração
3) eliminam o perigo de sobreaquecimento conduzindo a reacções explosivas ou altamente oxidantes (a nitração passa a efectuar-se em menor espaço de tempo)
4) a alimentação de reagentes é mais rápida (em vez da necessidade de arrefecimento, impõe-se o aquecimento, do ácido residual, a fim de facilitar a remoção da OH_2 de nitração).

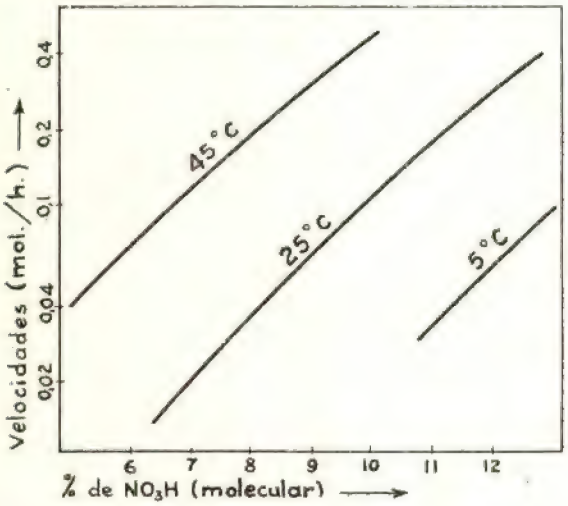
O emprego destes ácidos residuais efectua-se, de preferência, em instalações contínuas (grandes volumes). Pequenas quantidades do hidrocarboneto a nitrar são postas em contacto com grandes massas de ácido residual, em recirculação constantemente enriquecidas em NO_3H.

Acção da temperatura

Um aumento de 10° C de temperatura faz crescer a velocidade de nitração entre 2 e 2,5 vezes.

O grau de nitração aumenta com a temperatura.

Por outro lado a acção oxidante do NO_3H também se evidência a temperaturas mais elevadas. Trabalha-se normalmente a temperaturas baixas. Em certas reacções (por exemplo, na preparação da tri-nitro-glicerina) a segurança impõe um controle de temperatura muito apertado (± 2° C).



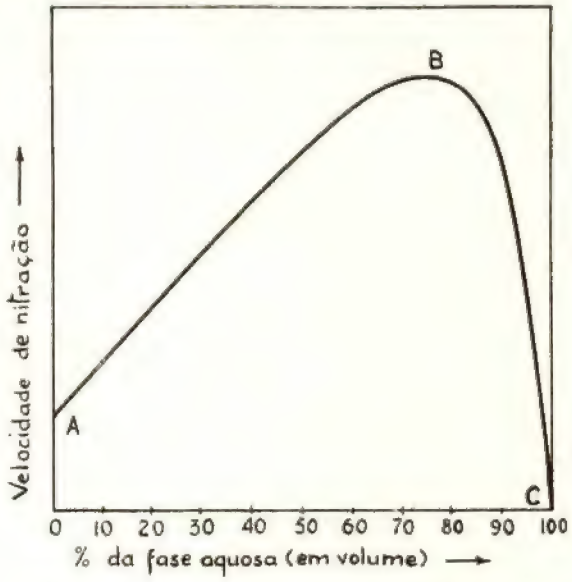
$$NO_3H + C_6H_6 \rightarrow C_6H_5 - NO_2 + OH_2$$

A difusão na nitração em fase líquida

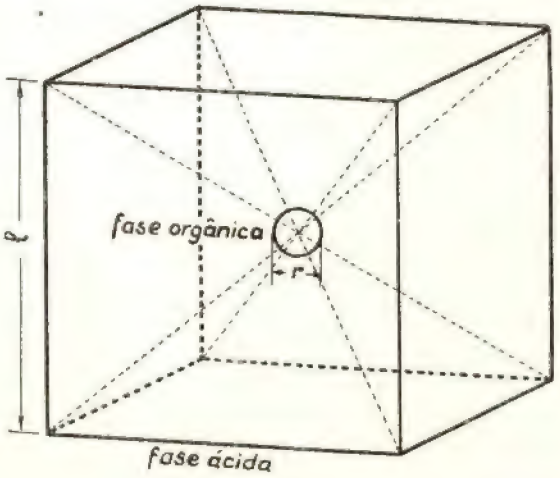
A nitração efectua-se em ambas as fases. Por emulsão cada uma das fases se satura recìprocamente. A velocidade de nitração na fase ácida é muito superior à que se verifica na fase orgânica.

Nas emulsões em que a fase orgânica ocupa relativamente um volume pequeno em relação ao volume total (caso por exemplo do emprego de ácidos intermédios residuais) o factor decisivo é a taxa de difusão da fase orgânica na mineral.

Consideremos a variação da velocidade de nitração com a % da fase inorgânica (ácida) em relação ao volume total, para uma dada temperatura, e uma certa composição de ácido:



Como se explica a queda brusca da curva entre B e C? De A a B a velocidade de nitração aumenta com o aumento do volume da fase ácida e, portanto, com o aumento da quantidade de SO_4H_2 (maior efeito deshidratante). Entre B e C a substância a nitrar reage com o ácido, mas em torno da fase orgânica passa a existir uma camada muito mais espessa de ácido que dificultará a sua difusão. A fase ácida deixará de estar saturada de derivado nitrado.



Considerando, numa primeira aproximação, uniformes as dimensões das gotículas de substância orgânica, dispersas, na fase ácida, vamos abordar analìticamente o problema. Seja x a fracção em volume da fase orgânica na unidade de emulsão.

A velocidade total da reacção v_T, será igual à soma da velocidade na fase orgânica v_O, com a velocidade na fase ácida v_A:

$$v_T = v_o + v_A$$

Porque, na fase orgânica, a composição é constante, a velocidade será proporcional ao volume:

$$v_o = K_1 x .$$

Admitindo que existe na fase ácida uma quantidade (em volume) y de substância a nitrar dissolvida, teremos:

$$v_A = K_2 y (1-x)$$

Consideremos que cada gotícula de substância orgânica se encontra centrada num cubo da fase ácida de aresta igual a l. O número de gotículas da fase orgânica (referido ao volume unitário da emulsão) será l^{-3}.

Por outro lado:

$$x = \frac{4\pi}{3} r^3 . l^{-3}$$

e:

$$l^{-3} = \frac{3x}{4\pi r^3}$$

em que r é o raio médio das gotículas da substância a nitrar, emulsionadas no ácido.

Admitindo que o valor médio de r é independente de x, teremos que l é inversamente proporcional a $\sqrt[3]{x}$.

A taxa de difusão σ da substância orgânica na fase ácida será directamente proporcional à diferença entre a concentração K_3 x no interior da fase orgânica e a concentração x_O na superfície de separação.

Será ainda directamente proporcional à média geométrica entre a área da gotícula (que é pràticamente constante) e a área do cubo envolvente. Finalmente σ diminuirá com a distância média de difusão (l):

$$\sigma = K_4 \cdot (K_3 x - x_o) \cdot \sqrt{4\pi r^2 . 6 l^2} \cdot \frac{1}{l}$$

Donde

$$\sigma = K_5 (K_3 x - x_o)$$

em que

$$K_5 = K_4 . 2 . \sqrt{6\pi} r$$

x_O é um valor, que, segundo os princípios geralmente aceites da difusão, se mantém constante.

A quantidade w de substância orgânica que se difunde no volume unitário de emulsão, será igual ao produto de σ pelo número de gotículas existentes

$$\frac{3x}{4\pi r^3} . K_5 (K_3 x - x_o)$$

ou ainda

$$K_6 = \frac{3 K_5}{4\pi r^3}$$

$$w = K_6 x (K_3 x - x_o)$$

Por outro lado a substância orgânica que difunde é igual à substância orgânica que reage na fase ácida

$$K_6 x (K_3 x - x_o) = K_2 y (1 - x)$$

$$y = \frac{K_6}{K_2} x \frac{K_3 x - x_o}{1 - x}$$

E portanto

$$v_T = K_1 x + K_6 x (K_3 x - x_o)$$

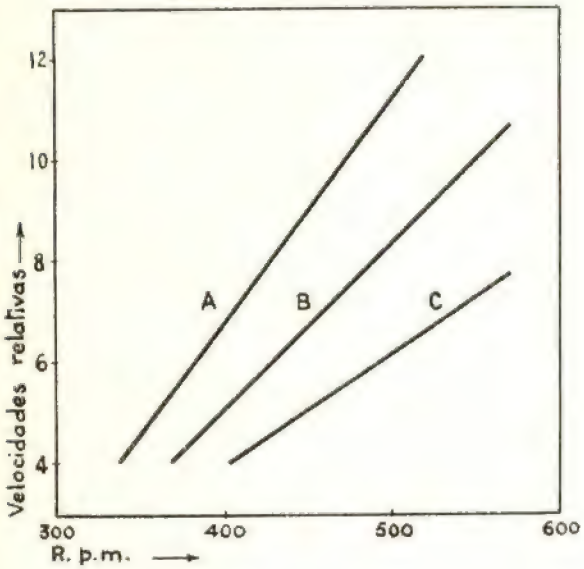
Este resultado está de acordo com o facto da nitração ser uma reacção bimolecular de (2.ª ordem).

A taxa de difusão, e portanto a velocidade de nitração, porque depende das condições em que se formou a emulsão e da maior ou menor facilidade em a fase ácida se saturar de derivado nitrado, está directamente relacionada com 2 importantes factores que vamos passar a tratar: agitação e solubilidade do composto nitrado no ácido.

Efeito da agitação

A agitação, visto que permite uma emulsão com saturação mutua das 2 fases, e por-

tanto com aumento de superfície de contacto, é um dos factores decisivos na nitração. Quando existem más condições de agitação a velocidade de nitração cai bruscamente. A velocidade de reacção parece variar linearmente com o número de rotações do agitador.



$$NO_3H + C_6H_6 \longrightarrow C_6H_5NO_2 + OH_2$$

A	SO_4H_2	27,8	NO_3H	3,45	OH_2	68,75
B	SO_4H_2	27,8	NO_3H	3,31	OH_2	68,89
C	SO_4H_2	27,74	NO_3H	3,17	OH_2	69,09

(composições moleculares)

Efeito da solubilidade do derivado nitrado

Um aumento de solubilidade do derivado nitrado na fase ácida implica um acréscimo da velocidade de nitração. Essa solubilidade aumenta com a temperatura, é facilitada pela agitação e diminui com a diluição do ácido.

Nos ácidos sulfo-nítricos a solubilidade do derivado nitrado aumenta com a concentração do ácido sulfúrico.

Exemplo duma aplicação numérica

Vamos calcular a composição do ácido sulfo-nítrico, mais aconselhável na mononitração do tolueno.

Porque o tolueno é susceptível de se oxidar com relativa facilidade, dando benzaldeido e ácido benzóico, escolhemos um valor de D. V. S. baixo

$$D.V.S. = 2,5$$

Admitamos, ainda, que pretendemos obter um ácido residual com 0,5 % de NO^3H, que o rendimento é 90 % e que

$$\frac{NO_3H \text{ real}}{NO_3H \text{ teórico}} = 1,1$$

Considerando a composição do sulfo-nítrico, referida a 100 unidades

NO_3H ..... a

SO_4H_2 ..... b

OH_2 ..... $\frac{c}{100}$

Suponhamos que, por cada 100 unidades de sulfo-nítrico, se obtém 100 r unidades (em peso) de ácido residual.

A quantidade equivalente de azótico que reagiu será

$$a - 0,5\ r$$

e a quantidade de água de reacção

$$\frac{18}{63}(a - 0,5\ r) = 0,286 \times (a - 0,5\ r)$$

Logo o ácido residual, produzido a partir de 100 unidades de sulfo-nítrico será

NO_3H ..... 0,5 r

SO_4H_2 ..... b

OH_2 ..... $\frac{c + 0,286\ (a - 0,5\ r)}{100\ r}$

Somos assim conduzidos ao seguinte sistema de equações

$$\begin{cases} a + b + c = 100 \\ 0,5\ r + b + c + 0,286\ (a - 0,5\ r) = 100\ r \\ 2,5 = \dfrac{b}{c + 0,286\ (a - 0,5\ r)} \end{cases}$$

O sistema anterior é indeterminado.

Arbitremos à incógnita c o valor 15 (15 % de OH_2 no ácido sulfo-nítrico inicial):

$$\begin{cases} a + b = 85 \\ \dfrac{a}{15 + 0{,}386\ (a - 0{,}5\ r)} = 2{,}5 \\ 0{,}5\ r + b + 15 + 0{,}286\ (a - 0{,}5\ r) = 100\ r \end{cases}$$

$$\begin{cases} a + b = 85 \\ 0{,}5\ r + 100 - a + 0{,}286\ (a - 0{,}5\ r) = 100\ r \\ a = 37{,}5 + 0{,}72\ (a - 0{,}5\ r) \end{cases}$$

$$a = 57$$

$$b = 28$$

Chegamos, assim, a composição mais aconselhável do ácido sulfo-nítrico para esta nitração

SO_4H_2	57 %
NO_3H	28 %
OH_2	15 %
	100 %

Exemplo duma aplicação laboratorial

Preparação do dinitrobenzeno

Adicione-se lentamente e agitando 170 g (120 cm³) de ácido azótico concentrado (d = 1,42) e 240 g (130 cm³) de ácido sulfúrico concentrado (d = 1,84) e deixe-se esfriar a mistura até à temperatura ambiente. Lance-se, então, gota a gota, o ácido sulfonítrico atrás preparado sobre 100 g (116 cm³) de benzeno, contido num balão de litro. O líquido deve ser mantido em agitação contínua, e a temperatura deve conservar-se entre 50-60° C, recorrendo-se a refrigeração exterior se for preciso. A adição de ácido leva aproximadamente 1 hora; a agitação mantém-se mais 1/2 hora.

Lançam-se os líquidos resultantes da mononitração numa ampola, de decantação, separando-se a camada superior oleosa (nitro-benzeno), que é novamente vertida num balão de 1 litro. Junte-se então, gota a gota, uma mistura de 140 g (95 cm³) de ácido azótico fumante (d = 1,52) e 170 g (90 cm³) de ácido sulfúrico concentrado (d = 1,84), prèviamente esfriada à temperatura ambiente, ao nitrobenzeno. O aquecimento é efectuado durante 1/2 hora em banho-maria, com agitação contínua. O balão é agora munido dum refrigerante de refluxo.

Após a adição de ácido mantém-se a agitação mais 15 minutos. Verte-se lentamente e agitando o conteúdo do balão em água fria. O dinitrobenzeno precipitado filtra-se, lava-se com água e deixa-se secar ao ar sobre papel filtro.

Rendimento 95-98 %.

O produto pode purificar-se por recristalização em álcool (agulhas incolores fundindo a 90° C).

(Continua)

TIPOS MODERNOS DE TRANSMISSÕES

Relatório apresentado por JOSÉ JORGE CANELAS, do Curso de Máquinas, na Cadeira "Laboratórios de Ensaios de Máquinas", 2.ª parte, da regência do Ex.mo Snr. Eng.º António Portela, no ano de 1946/47

C. D. 621.8

Como complemento ao programa da Cadeira de Ensaios de Máquinas, costuma o Snr. Eng.º Portela distribuir à escolha, por alunos ou grupos de alunos, um assunto intimamente ligado com os assuntos da Cadeira.

Sob a sua orientação, esses relatórios vão formar auxiliares valiosos, postos à disposição dos alunos que os quizerem consultar, para o estudo dos diversos assuntos versados.

Em virtude dos esforços que se têm feito nos últimos anos com o fim de simplificar a condução de automóveis e de suprir a falta de técnica de um número crescente de condutores, com interesse reduzido pelo modo de funcionar e de conduzir um automóvel, os construtores têm-se esforçado por introduzir nos seus últimos modelos sistemas de transmissão mais ou menos automáticos.

Embora pertencendo aos adeptos da velha caixa convencional de velocidades, a actualidade do assunto levou-nos a fazer o seu estudo.

A sua publicação tem por fim pôr à disposição daqueles que disponham de menos tempo para o fazerem, algo que os possa iniciar sobre o funcionamento dos sistemas mais modernos utilisados.

Embraiagem Hidráulica

Desde sempre se sentiu a conveniência de amortecer todos os choques entre o motor e os órgãos por ele accionados e consequentes fadigas que daí resultam.

Actualmente, com a importância crescente, não só nos automóveis como nos outros veículos, da relação potência/peso, a conveniência de um dispositivo amortecedor entre o motor e o veio de transmissão tornou-se premente.

Um dos dispositivos amortecedores mais modernamente utilizados é a embraiagem hidráulica.

A origem da embraiagem hidráulica data de 1905, época em que o Dr. Fottinger a inventou, juntamente com o conversor de binário.

Em 1922 este tipo de embraiagem foi usado a bordo de barcos construídos pela Vulcan, de Hamburgo, no sistema de propulsão por motores Diesel.

Estes motores giravam a uma velocidade tal que necessitavam de usar carretos de redução entre eles e as hélices, mas as vibrações torcionais dos motores eram tais que foi necessário intercalar uma embraiagem deste tipo para que os carretos pudessem funcionar satisfatòriamente.

A primeira aplicação da embraiagem hidráulica a veículos motores deve-se porém ao Eng.º Sinclair.

* * *

A embraiagem hidráulica consta essencialmente de dois órgãos, fundidos em ligas de metais leves.

O «impulsor», ligado ao volante do motor, e o «rotor» ligado à transmissão. É o fluído em circulação que transmite o movimento do impulsor ao rotor.

Como se vê na fig. 1, estes órgãos são constituídos por uma série de pás, direitas, dispostas radialmente e formando como que um semi-toro.

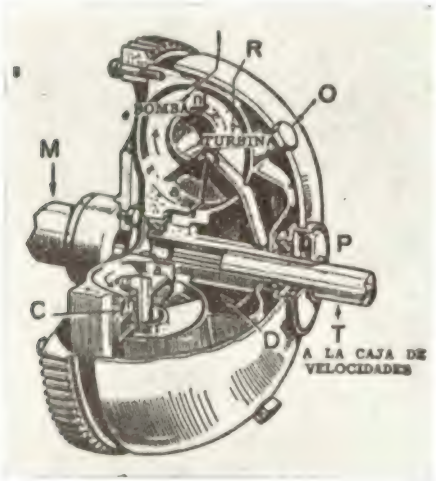


Fig. 1

Não existe ligação mecânica alguma entre os dois órgãos; é o fluido em circulação que transmite o movimento do impulsor ao rotor.

Princípio do funcionamento

Podemos considerar o impulsor e o rotor com duas bombas centrífugas montadas sobre veios diferentes, ligadas hidràulicamente, como mostra a fig. 2.

Suponhamos as bombas (a) e (b) girando com números de rotações respectivamente iguais a n_a e n_b.

Vamos ver o que se passa na bomba (a).

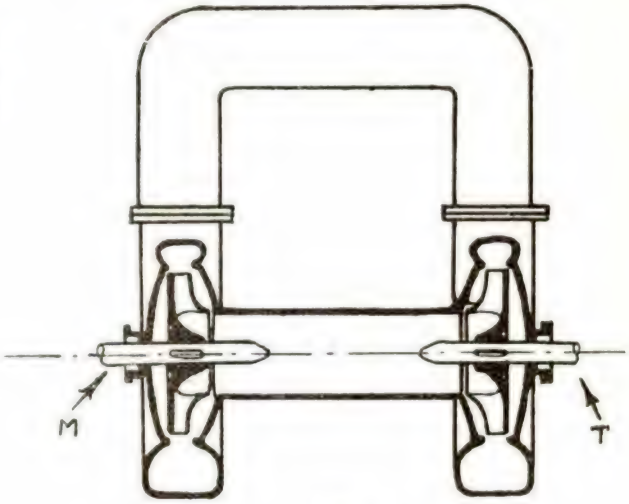
O óleo vai adquirir uma energia que vai ser aproveitada em o enviar a uma dada altura Ha.

Considere-se um elemento de fluido de massa ∂m, animado da velocidade v e correspondente à força ∂f.

Pela expressão da quantidade de movimento, tem-se:

$$\partial f \,.\, dt = d\,(\partial m \,.\, v)$$

em que v, dum modo geral, depende do espaço e do tempo.



(a) Fig. 2 (b)

Esta expressão pode tomar a forma:

$$\partial f = \frac{d\,(\partial m \,.\, v)}{d\,t}$$

Para simplificar, podemos supor o regimen permanente e, portanto, v independente do tempo.

Será então:

$$\partial f = v \,.\, \frac{d\,\partial m}{d\,t}$$

E integrando:

$$\int \partial f = v \,.\, \int \frac{d\,\partial m}{d\,t}$$

em que:

$$\int \frac{d\,\partial m}{d\,t} = \frac{Q\ m^3/seg.\ \gamma\ kg/m^3}{g}$$

isto é:

$$F = \frac{Q \times \partial}{g}\ v$$

Este V é a velocidade absoluta do óleo e por isso lhe passaremos a chamar C

$$F = \frac{Q \times \gamma}{g}\ C$$

Façamos o corte da roda em que se vêem os raios de entrada e de saída r_{1a} e r_{2a} e os respectivos diagramas de índices 1 e 2.

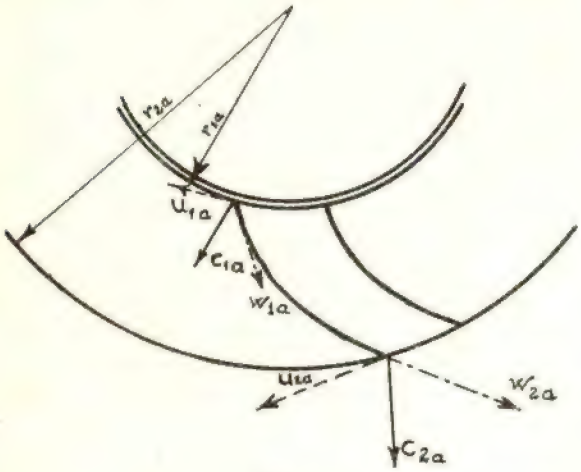


Fig. 3

O binário aplicado pela força F à saída da bomba é

$$B_2 = F \times r_2 \times \text{sen}\,(F, r_2)$$

e sendo

$$Fu = F\ \text{sen}\,(F, r)$$

virá

$$B_2 = Fu_2 \times r_2$$

Do mesmo modo, para a entrada

$$B_1 = -\,Fu_1 \times r_1$$

O binário aplicado à roda, será

$$Ba = B_1 + B_2 = -\,Fu_1 \times r_1 + Fu_2 \times r_2 =$$
$$= Fu_2 \times r_2 - Fu_1 \times r_1 =$$
$$= \frac{Q \cdot \gamma}{g}\,(Cu_2 \times r_2 - Cu_1 \times r_1)$$

em que Cu_2 e Cu_1 são as projecções das velocidades absolutas C_2 e C_1 sobre a direcção das velocidades periféricas U_2 e U_1.

Como sabemos, a potência produzida é o produto do binário aplicado B pela velocidade angular Ω e como $r_1\,\Omega = U_1$ e $r_2\,\Omega = U_2$

$$Na = Ba \,.\, \Omega = \frac{Q \cdot \gamma}{g}\,(Cu_2 \,.\, U_2 - Cu_1 \,.\, U_1)$$

Por outro lado a potência impulsora necessária para elevar o caudal $Q^{m3/seg}$ a uma dada altura Ha é

$$Na = \frac{Q \,.\, Ha \,.\, \gamma}{\eta}$$

Igualando as duas expressões tira-se o valor de Ha

$$Ha = \frac{\eta}{g}\,(Cu_2\ a \,.\, U_2\ a - Cu_1\ a \,.\, U_1\ a)$$

Como

$$U = \frac{2\,\pi\,r\,n}{60} \qquad \text{e} \qquad \frac{U_2\,a}{U_1\,a} = \frac{r_2\,a}{r_1\,a}$$

podemos escrever

$$H_a = \frac{\eta}{g} \cdot \frac{2\,\pi\,r_{2a}}{60}\,n_a \left(Cu_{2a} - \frac{r_{1a}}{r_{2a}}\,Cu_a\right)$$

donde se vê que a altura é proporcional ao número de rotações n na bomba.

Fazendo considerações idênticas para a bomba (b), vem

$$H_b = \frac{\eta}{g} \cdot \frac{2\,\pi\,r_{2b}}{60}\,n_b \left(Cu_{2b} - \frac{r_{1b}}{r_{2b}}\,Cu_{1b}\right)$$

Sendo as bombas iguais, quando

$$n_a = n_b$$

será

$$Ha = Hb$$

e não haverá portanto circulação de óleo.

Sempre que $n_a \neq n_b$ e portanto $Ha \neq Hb$, haverá tendência a estabelecer-se uma circulação de óleo e uma das bombas (aquela que gira a menor número de rotações e portanto eleva a menor altura) trabalhará como uma turbina que funcionasse sobre uma altura diferença das duas alturas e passará a fornecer energia mecânica.

Na prática a embraiagem tem esquemàticamente o aspecto da fig. 4.

Suponhamos o impulsor girando a maior número de rotações que o rotor (caso do

motor puxando pelo carro), será $H_i > H_r$ em que o índice i se refere ao impulsor e o índice r ao rotor.

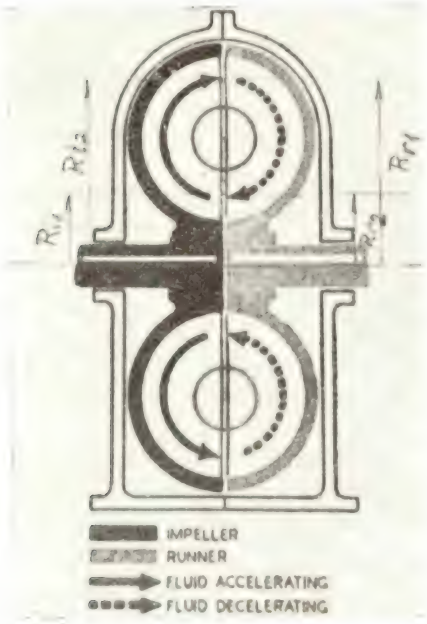


Fig. 4

Vai-se estabelecer uma circulação de óleo de tal modo que o impulsor funcionará como bomba e o rotor como turbina.

O óleo entrará nos canais do rotor com uma velocidade absoluta

$$c_{1r} = c_{2i}$$

e uma velocidade reltiva

$$w_{1r} = w_{2i}$$

Em virtude da forma das pás dos dois órgãos serem radiais e sem curvaturas, e de ser

$$n_i > n_r$$

virá

$$u_{1r} < u_{2i}$$

Vamos ter choque e nesse instante a velocidade do choque será

$$v_{chr} = u_{2i} - u_{1r}$$

Da igualdade acima se vê que para que deixe de haver choque, $v_{chr} = 0$ terá de ser

$$u_{1r} = u_{2i}$$

isto é, o impulsor e o rotor têm de girar à mesma velocidade.

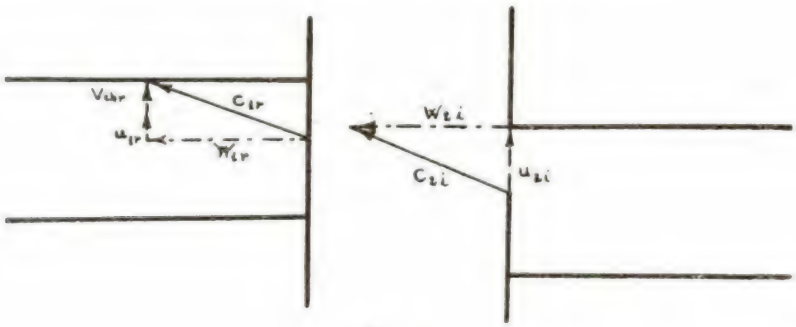


Fig. 5

Vamos ver que sempre que há circulação de óleo, impulsor e rotor girando a velocidades diferentes, vai haver «choque» e portanto uma perda de energia.

Sendo c_{1i}, c_{2i}, c_{1r}, c_{2r}; u_{1i}, u_{2i}, u_{1r}, u_{2r}; w_{1i}, w_{2i}, w_{1r}, w_{2r}; respectivamente as velocidades específicas, absolutas, periféricas e relativas, à entrada e à saída, do rotor e do impulsor, vejamos o que se passa.

À saída do rotor teremos um caso semelhante:

$$u_{1i} = u_{2r} + vch_i$$

e quando $vch_i = o$ virá

$$u_{1i} = u_{2r}$$

Vê-se pois que só deixará de haver choque, tanto à entrada como à saída, quando

o impulsor e o rotor girarem à mesma velocidade.

$$n_i = n_r$$

Estaríamos no caso em que a relação de transmissão é de 1/1, admitindo que não havia escorregamento nenhum entre os dois órgãos, o que ainda não se conseguiu até agora (define-se como escorregamento a diferença de velocidade entre os dois órgãos, expressa em percentagem da velocidade de impulsor).

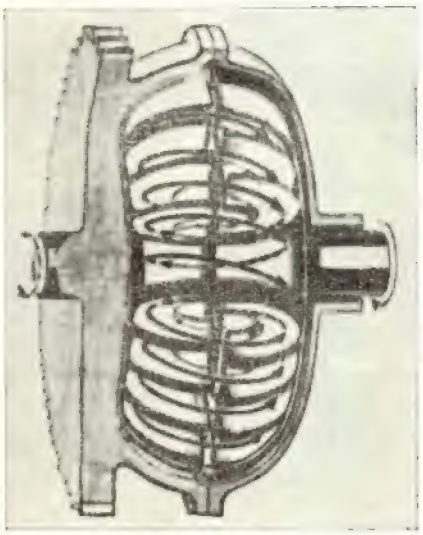


Fig. 7

Estando os dois órgãos a girar com velocidades diferentes, vimos que há circulação de óleo.

O óleo terá então dois movimentos: Um em volta do eixo de sistema rotor/impulsor, e outro em torno das células.

Teremos assim um movimento em forma de turbilhão, como mostra a fig. 7.

O aproveitamento total (desprezando a influência dos atritos) pelo rotor da energia fornecida pelo impulsor, só se daria no caso da razão de transmissão ser 1/1, mas nesse caso a energia é nula.

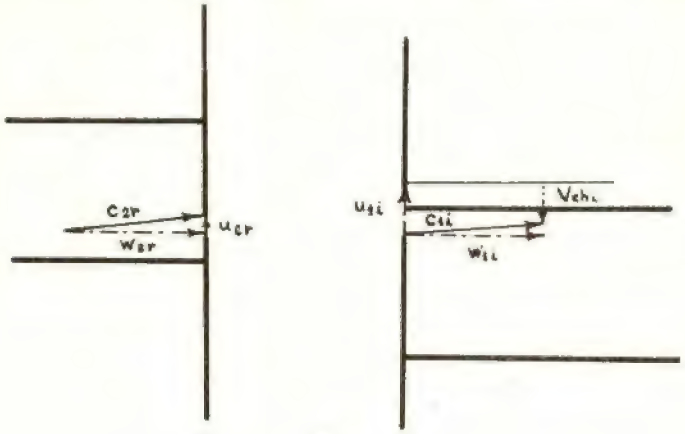


Fig 6

A partir destas considerações podemos traçar a curva do rendimento para uma embraiagem deste tipo, fig. 8.

Marcando em ordenadas e escorregamentos e em absissas o rendimento.

Pela expressão do rendimento:

$$\eta = \frac{\text{Br (binário do rotor)} \times \omega_r \text{ (velocidade angular do rotor)}}{\text{Bi (binário do impulsor)} \times \omega_i \text{ (velocidade angular do impulsor)}}$$

vemos que ele será nulo quando o escorregamento for de 100 %, pois o rotor está parado e portanto $\omega_r = o$, a irá aumentando até ao seu valor máximo (uns 96 a 98 %) quando o escorregamento for muito próximo de 0 %; pois quando o escorregamento for nulo o rendimento também o será, pois não há circulação de óleo e portanto transmissão de energia.

É conveniente notar que esta curva traduz o rendimento real da embraiagem, salvo para o escorregamento nulo em que ela nos mostra um rendimento também nulo, quando ele realmente é máximo neste ponto.

Com efeito, não há transmissão de energia por não haver circulação de óleo, mas rodando o rotor e o impulsor à mesma velocidade (escorregamento nulo) o rotor não é mais do que uma bomba que, admitindo as formas e as dimensões iguais às do impulsor, fornecerá um binário que neste instante e só neste instante será igual ao do impulsor.

Q constante, para simplificar podemos escrever

$$N_h = K\,(U_1\,Cu_1 - U_2\,Cu_2)$$

Fixando o caudal, fixamos também uma velocidade média Cm.

Construindo o diagrama das velocidades no impulsor e no rotor, e calculando os momentos hidráulicos, verifica-se que devido

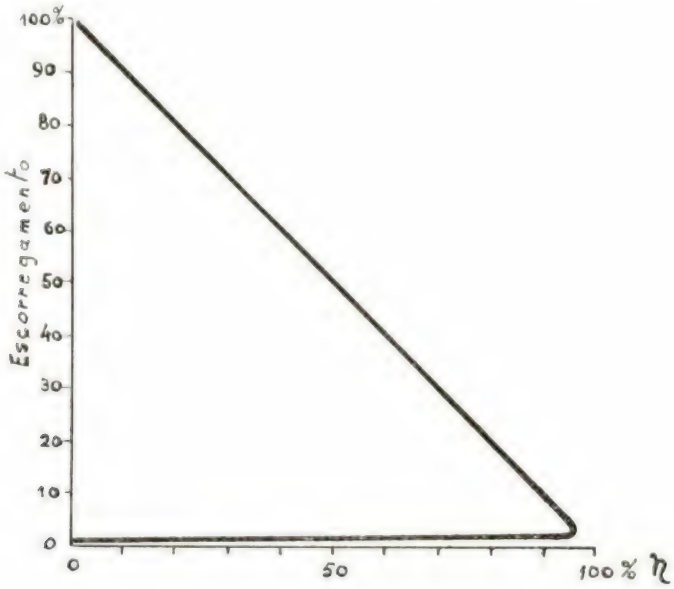


Fig. 8

Portanto quando for $\omega_r = \omega_i$ será $\eta = 1$.

Em todas as outras circunstâncias há perdas de energia e o binário utilizado pelo rotor é uma pequena parte do que é fornecido pelo impulsor.

Vamos fazer um diagrama das velocidades para o caso da relação 1/2, Fig. 9.

Vamos supor as seguintes relações entre os raios do filete médio dos canais do impulsor e rotor à entrada e saída.

$$\frac{r_{1i}}{r_{2i}} = \frac{r_{2r}}{r_{1r}} = \frac{1}{2}$$

A potência é dada, como sabemos, por

$$N_h = \frac{\gamma Q}{g}\,(U_1\,Cu_1 - U_2\,Cu_2)$$

e se admitirmos que temos um dado caudal

ao choque à entrada do rotor e do impulsor, estes momentos são bastante diferentes.

Os requisitos a que a embraiagem hidráulica tem de satisfazer são:

1) Estando o carro parado, com o motor ao rallentie, deve haver um escorregamento de 100 %.

2) Durante o período de aceleração, que vai desde o arranque até à marcha normal, o escorregamento deve diminuir rápidamente.

Exemplificando: isto significa que se a velocidade mínima de arranque a que corresponde o máximo binário motor, é de 850 r. p. m., para o qual o escorregamento é de 100 % (carro parado e o motor em marcha) assim que a velocidade do motor alcança umas 900 r. p. m. esse escorregamento já deve ser apenas de 15 %, quer dizer manteve-se a velocidade do motor e

subiu a do carro até que esse escorregamento será a 1.000 r. p. m. de uns 10 % apenas.

3) Que a eficiência da transmissão às velocidades normais seja bastante alta, isto é, se possível fosse, um escorregamento nulo (chega-se actualmente a obter um escorregamento apenas de 2 %).

não havia este toro que favorece a circulação do óleo).

b) Com um aumento de 50 % no número de pás, com o fim de suprimir o fenómeno de «batimento» tão conhecido nas bombas.

c) Ainda com o uso de um reservatório exterior ao toro D (da Fig. 1) que faz que

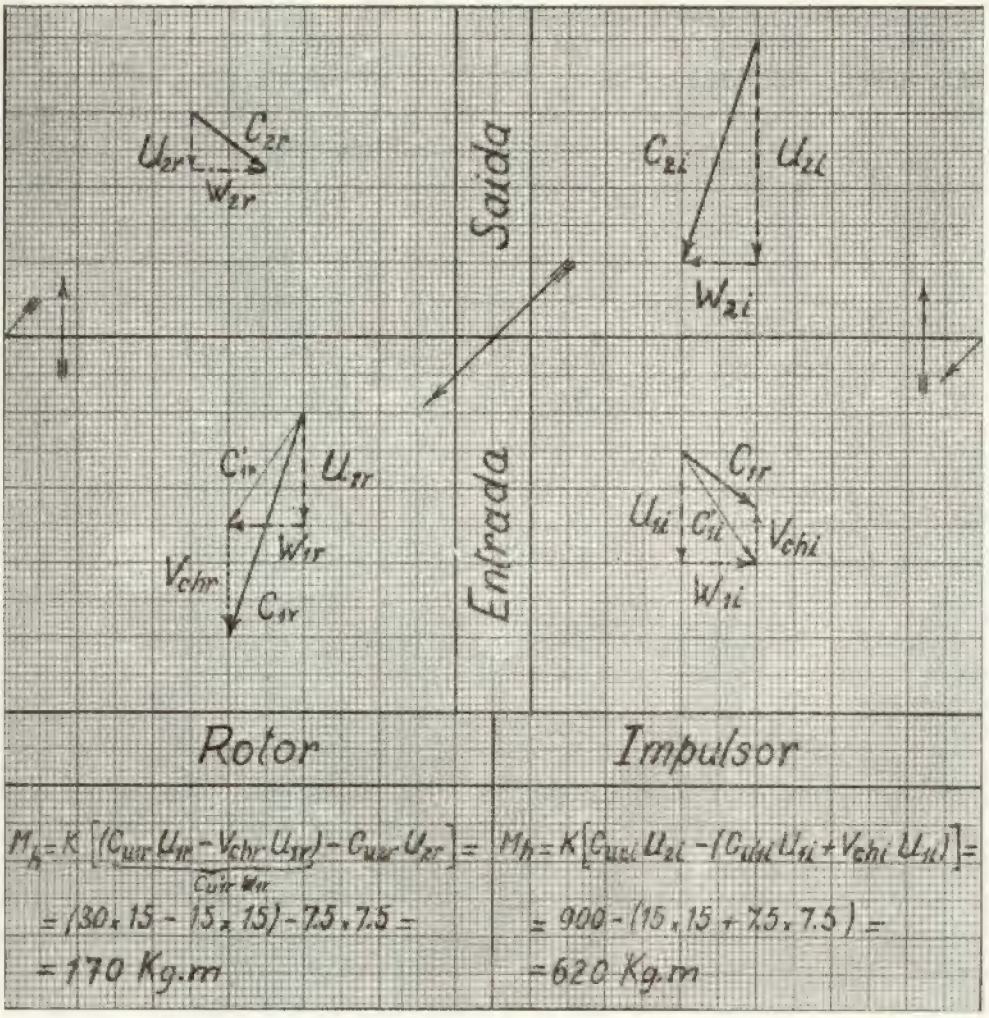


Fig. 9

Na figura 10 vêem-se as curvas da embraiagem hidráulica, sistema Vulcan (1930) e o mais moderno Vulcan-Sinclair.

Conseguiu-se a melhoria por ensaios práticos em que se verificou que a curva melhorava com:

a) O dispositivo do toro central que se pode ver na Fig. 1 (nos primeiros sistemas

a altas velocidades, sendo o óleo projectado para o exterior da embraiagem, fique o toro cheio de óleo e a união transmita o máximo binário, mas à velocidade de rallentie grande parte do óleo esteja fora do toro, acumulando-se no reservatório, e diminuindo por isso o arrastamento.

Vejamos o que se passa quando, aliviando o acelerador, há tendência do automóvel arrastar o motor.

Normalmente, quando o motor está puxando pelo carro, o movimento turbilhonário do óleo na embraiagem tem um sentido. Quando aliviamos o acelerador, o rotor torna-se o impulsor, e vice-versa, e a direcção do movimento turbilhonário tende a inverter-se.

Haverá uma fracção de tempo em que se dá a mudança de sentido do movimento do óleo e em que a embraiagem se porta como se não tivesse óleo. Será esse o momento indicado para efectuar uma mudança de velocidade.

gem convencional, o que nos permite aguentar a directa a baixas velocidades, utilizando no entanto um grande binário motor.

Vamos ver em seguida alguns sistemas de caixas usadas em conjunto com a embraiagem hidráulica.

Caixa Wilson

A Companhia Daimler foi quem em 1930 fez a primeira aplicação da embraiagem hidráulica a automóveis.

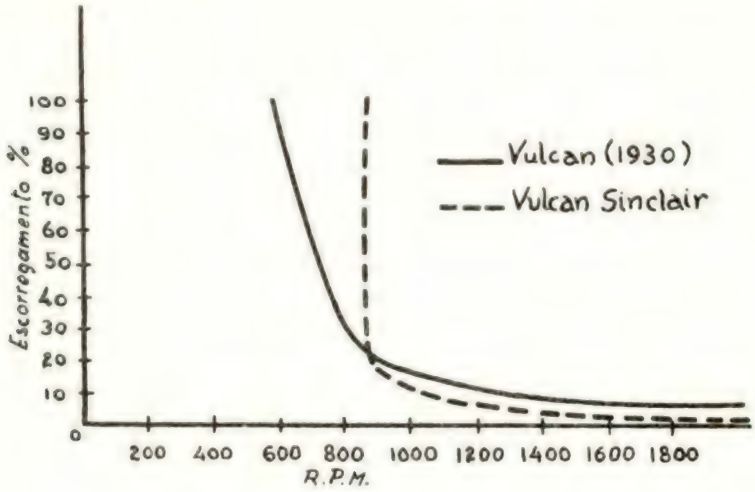


Fig. 10

A embraiagem hidráulica não é indicada para ser usada com uma caixa de velocidades convencional, por isso os construtores foram para a solução de a adaptar a caixas de velocidades epicíclicas, à excepção da Crysler e Ford, que usam caixas mais ou menos convencionais.

Com efeito, mesmo quando o escorregamento é de 100 %, há um certo arrastamento entre o rotor e o impulsor, arrastamento esse que torna difícil efectuar uma mudança de velocidade, a não ser que intercalemos uma embraiagem de discos.

Em virtude do escorregamento apreciável a baixas velocidades ou a velocidades médias com acelerador a fundo (grande momento resistente a vencer), vê-se que embora o motor gire fornecendo o binário máximo, em virtude do escorregamento o carro poderá deslocar-se mais lentamente do que com uma embraia-

Reconheceram os engenheiros desta companhia a vantagem de usar uma caixa de engrenagens planetárias, sistema que tinha sido usado no começo do automobilismo por Lanchester e Oldsmobile e mais tarde por Ford, no seu modelo T, e que ainda hoje se usa em quase todas as caixas dos motores marítimos para a marcha à ré.

Na Caixa Wilson, os jogos de rodas epiciclodais podem ser fixados por meio de cintas de travão, que actuam na parte externa das coroas dentadas.

Vejamos em mais detalhe o seu funcionamento.

Em esquema podemos representar a combinação de engrenagens como na fig. 12.

Consta de 4 tambores para primeira, segunda, terceira e marcha atrás, e de uma embraiagem para a directa, que pode ser cónica ou de discos.

Os tambores são imobilizados exteriormente por meio de cintas comandadas pelo condutor.

tambor a rodar em sentido contrário ao do planetário. O veio de transmissão não se move.

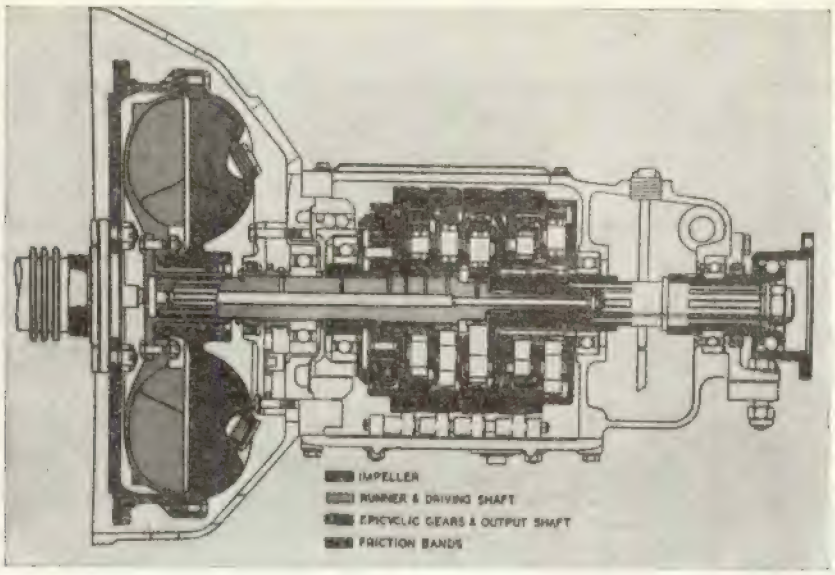


Fig. 11

O interior dos tambores é dentado e aí engrenam os satélites, geralmente em número de três por tambor, que por sua vez engatam no pinhão central.

Travemos agora o tambor.

Como este não se pode deslocar, os satélites vão deslocar-se sobre ele e estarão agora possuídos de um movimento de trans-

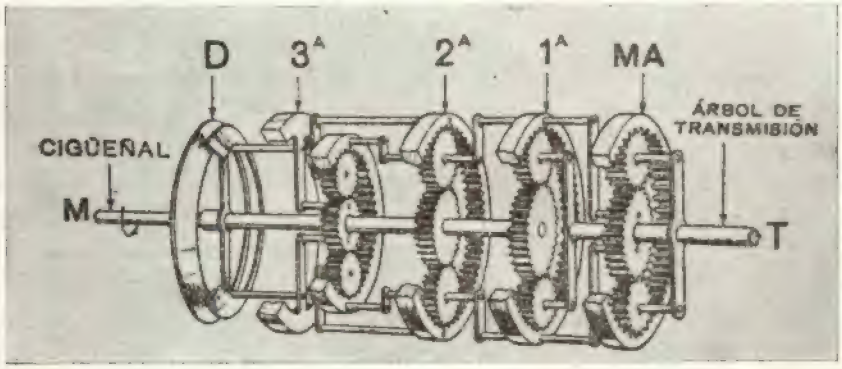


Fig. 12

Consideremos um único jogo de engrenagens para melhor compreendermos o que se passa. Suponhamos que temos uma roda planetária ligada ao motor e os satélites ao veio de transmissão (fig. 13).

Estando o tambor destravado, se fizermos girar o planetário, os satélites começam a girar nos respectivos eixos obrigando o

lação além dum movimento de rotação em torno dos seus eixos. Este movimento de translação dos satélites faz mover o veio de transmissão como se pretendia.

Como se vê, para meter uma mudança não é necessário engatar carretos pois estes estão sempre engatados; daqui resulta a grande vantagem desta caixa.

Vejamos como travar os tambores para efectuar as várias mudanças de velocidade (fig. 8).

Primeira: Obtém-se aplicando o travão ao primeiro tambor, de forma a torná-lo estacionário.

O motor fará girar o planeta principal de modo que os satélites do jogo travado deslocar-se-hão com um movimento de translação e, como estão ligados ao veio de transmissão, fazem este mover-se.

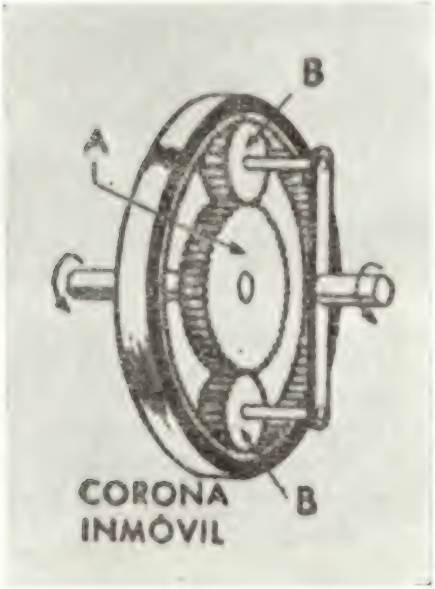


Fig. 13

Segunda: Obtém-se travando o segundo tambor, de modo a torná-lo estacionário.

O motor fará girar o planeta principal, ao qual também estão engatados os satélites deste segundo jogo que se deslocarão com um movimento de translação.

Estes satélites estão ligados ao tambor do primeiro jogo, fazendo-o girar também no mesmo sentido que o planeta principal.

Os satélites do primeiro jogo, entalados entre o planetário e o tambor, ambos com movimento no mesmo sentido, deslocar-se-ão com o movimento de translação, mais rápido agora que no primeiro caso, arrastando o veio de transmissão.

Terceira: Obtém-se travando o terceiro tambor, de modo a torná-lo estacionário.

Este tambor, porém, já não é dentado interiormente, mas é a ele que está ligado o planetário. O facto de ele estar estacionário torna o planeta estacionário.

Em volta dos satélites há um anel dentado interiormente, que está ligado ao porta-satélites do segundo jogo, que por seu turno se liga ao tambor do primeiro jogo.

Os satélites do terceiro jogo estão ligados ao tambor do segundo jogo, e fazem-no girar no mesmo sentido do motor.

O planeta principal ataca os satélites do segundo jogo que arrastam o anel dentado do terceiro jogo, obrigando os satélites deste terceiro jogo a moverem-se com movimento de rotação e translação.

Em virtude do movimento de translação, o comando volta para trás, pois o tambor do segundo jogo é arrastado no sentido de giro do motor, mas com maior velocidade, o que trás como consequência acelerar os satélites do segundo jogo que arrasta o tambor do primeiro ainda com maior velocidade que no caso da segunda velocidade.

Directa: Para se obter a directa por meio da embraiagem D (fig. 12) liga-se o veio motor ao prato que arrasta consigo o planeta do terceiro jogo.

Como o planeta principal que arrasta os satélites do primeiro e segundo jogos é fixo, gira sempre com a velocidade do motor, sendo portanto impossíveis movimentos relativos entre os planetas, satélites e coroas; portanto os jogos giram como um só conjunto e com a mesma velocidade do motor.

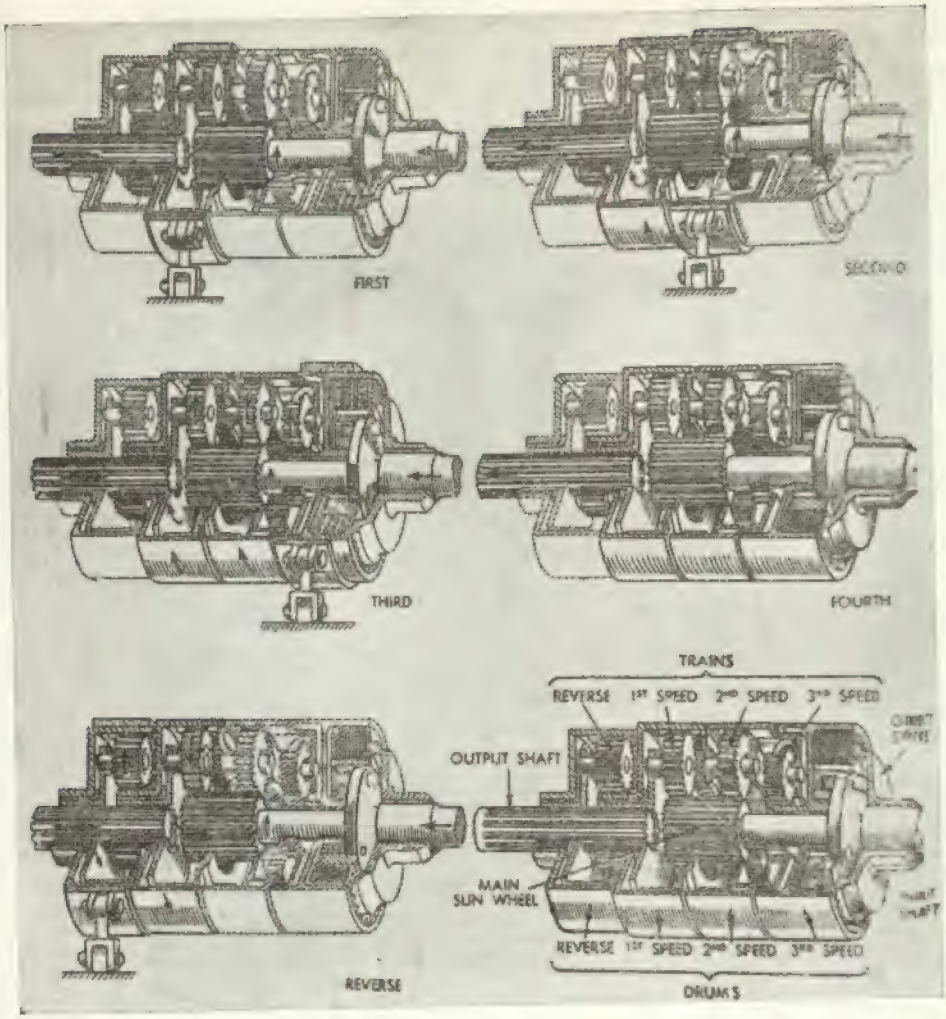
Os travões estão evidentemente soltos em volta dos tambores-coroas.

Marcha atrás: O tambor da primeira está ligado ao planeta da marcha atrás.

Se travarmos o tambor do jogo de marcha atrás, vejamos o que se passa.

O planeta principal ataca os satélites do jogo da primeira e, em virtude do tambor deste jogo estar solto, ele girará em sentido contrário ao do motor, arrastando consigo o planeta de marcha atrás.

Como o tambor deste jogo está travado, os seus satélites deslocar-se-ão com movimento de rotação e translação, este último em sentido contrário ao do motor. Como o porta-satélites deste jogo está ligado ao



Fg. 14

Fig. 15

veio de transmissão, este mover-se-á em sentido contrário ao do veio do motor.

Os satelites da primeira também se deslocarão com movimento de translação, em virtude do porta-satelites também estar ligado ao veio motor.

Comando: O condutor tem uma alavanca de comando que lhe permite escolher a mudança que deseja (fig. 15).

Como vimos, para efectuar uma mudança é necessário travar a cinta que fixa o tambor do jogo epicicloidal correspondente à mudança escolhida, e soltar o que estava travado.

Na fig. 16 vê-se a cinta travão e o mecanismo que efectua a travagem.

Vamos ver então o que se passa.

Quando o conductor actua a alavanca de comando (fig. 15) ela vai fazer rodar um

veio de cames (camshaft, fig. 16) que vai, por meio de uma came, libertar uma alavanca (finger guide) empurrada por uma mola (selector spring). A alavanca da cinta travão (toggle finger) vai ser empurrada até ao contacto com o ressalto especial (bus bar) mas não chega a engatar nele.

Desembraiando o conductor, o ressalto baixa, engatando nele a alavanca da cinta travão.

O movimento de embraiar vai agora fazer levantar o ressalto, actuando na alavanca da cinta travão, fixando-se assim o tambor do jogo epicicloidal.

(Continua)

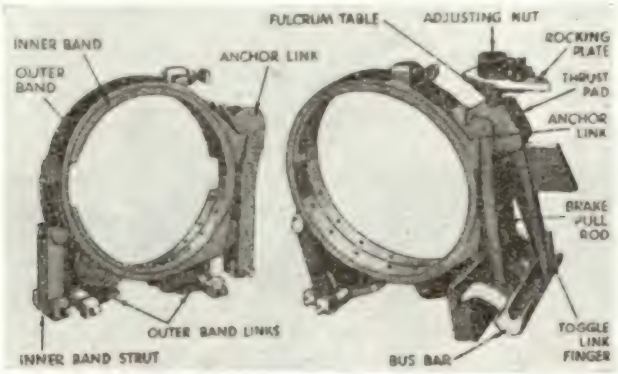


Fig. 16

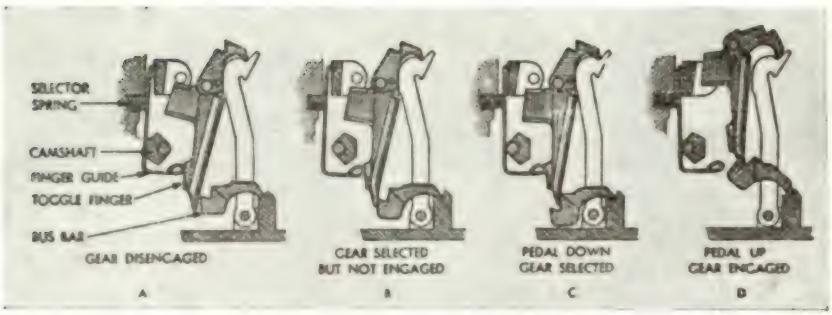


Fig. 17

ERRATA

Na página gráfica publicada no n.º 188, na legenda de uma fotografia do Porto de Ponta Delgada, onde se lê: «Portos de Acostagem», deverá ler-se : «Postos de Acostagem».

No verso da mesma página sairam trocadas as gravuras, sendo a encimada pelo título de Porto de Portimão referente ao Porto de Vila Real de Santo António e recìprocamente.

BIBLIOTECA

PUBLICAÇÕES

Todas as publicações aqui indicadas, são pertença da Biblioteca da A. E. I. S. T. e podem ser consultadas a partir desta data.

Os números indicados à esquerda, dão a localização das obras na nossa Biblioteca, e há conveniência em os saber quando da requisição de livros.

140-E C. D. 058 (665)

Anuário da Guiné Portuguesa — 1948

GOVERNO DA GUINÉ

1948 — Págs. 875

480-B C. D. 31:38/629.12

Estatística do Comércio Externo e da Navegação

REPARTIÇÃO TÉCNICA DE ESTATÍSTICA GERAL

1948 — Págs. 592

HU-449 C D. 512.9

Functions of extended class in the theory of functions of several complex variables

Por STEFAN BERGMAN

Harvard University — 1948

Págs. 523/547

HU-452 C. D. 541.121:546.13/7

Equilibrium studies on N-chloro compounds

Por CARRELL HORNIS, SALAZAR E WINEMAN

Harvard University — 1948

Págs. 2036/2041

HU-452 C. D. 541.123.21:546.13

The mechanism of the hydrolysis of chlorine

Por CARRELL MORRIS

Harvard University — 1948

Págs. 1692/1694

HU-451 C. D. 517.944

Kernel functions in the theory of partial differential equations of elliptic type

Por BERGMAN e SCHIFFER

Harvard University — 1948

Págs. 535/536

HU-453 C. D. 532.5.032

On Bergman's integration method in two dimensional compressible fluid flow

Por MISES e SCHIFFER

Harvard University — 1948

Págs. 249/285

HU-454 C. D. 546.13:663.63

The behaviour of chlorine or a water desinfectant

Por FAIR, MORRIS, CHANG, WAIL e BURDEN

Harvard University — 1948

Págs. 1051/1061

275-F C. D. 628.122

Inauguração da estação elevatória dos Olivais

COMPANHIA DAS ÁGUAS DE LISBOA

5-1948

84-S C. D. 629.128.2

Shipways with cellular walls on a marl fundation

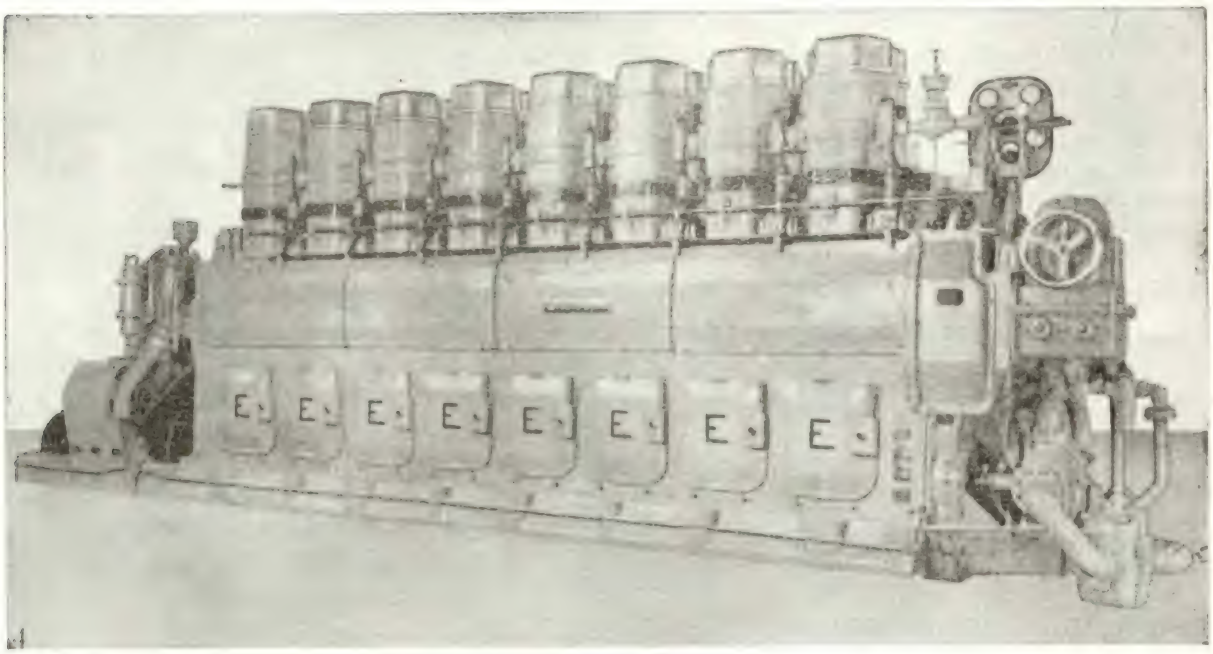
Por HUGH, MILLER e TERZAGGI

American Society of Civil Engineers — 1948

Págs. 297/324

ENTERPRISE

ENGINE & FOUNDRY COMPANY — U. S. A.



MOTORES DIESEL MARÍTIMOS — MOTORES DIESEL ESTACIONÁRIOS

GRUPOS DIESEL-GERADOR

45 a 2100 HP — **200 a 850 RPM** — **3 a 8 cilindros**

- Bloco de cilindros fundido numa só peça.
- Base fundida numa só peça.
- Camisas em contacto directo com a água.
- Cabeças de cilindro individuais.
- Cambota em aço forjado.
- Tirantes em aço forjado, Tipo marítimo.
- Bombas de injecção individuais.
- Válvulas em aço « SILICHROME »
- Lubrificação forçada.
- Balanceiros com sistema hidráulico para eleminação de folga.
- Válvula de arranque em todos os cilindros.
- Com ou sem sobre-alimentação.

CONSTRUÇÃO ROBUSTA — SERVIÇO CONTÍNUO — ECONOMIA

REPRESENTANTES:

• TERMO-MECANICA •

LIMITADA

RUA ANDRADE CORVO, 3-C — **LISBOA**

REVISTAS

		C. D.
Aeroplane (The), n.os 1958 a 1964	Inglaterra	629.13
Aircraft Engineering, nº 239	Inglaterra	629.13
Alfa, n.º 45	Espanha	62/69
Anais do Club Militar Naval, Março-Abril (1948)	Portugal	623
Arcos, nº 111	Bélgica	621.791
Arquitectura, n.º 26	Portugal	72
Asea Journal, n.os 3-4 e 6-8, 1948	Suécia	621.3
Boletim da Junta Nacional da Cortiça, n.os 120 e 121	Portugal	679
Boletim da Sociedade de Geografia de Lisboa, n.os 7-8, 1948	Portugal	6:9
Brotéria, Fasc. 1, 1949	Portugal	1:2:3:7:8
Building Digest n.º 12, 1948	Inglaterra	621
Bulletin of the British Cast Iron Research Association, n.º 10, 1949	Inglaterra	669.16
Bulletin du Congrés des Chemins de Fer, n.º 12, 1948 e n.º 1, 1949	Bélgica	385
Cemento y Hormigón, n.os 177 e 178	Espanha	666.9:624
Chronique des Mines Coloniales (La), n.os 148-149	França	622
Dyna, n.os 11 e 12, 1948	Espanha	62/69
Electrical Communication, n.º 1, 1948	Inglaterra	621.3
Engenheiro Westinghouse (O), Fevereiro, 1949	U. S. A.	621.3
Estudos, n.º 272	Portugal	1:2:3:7:8
Gazeta dos Caminhos de Ferro, n.os 1465 a 1467	Portugal	385
Gazeta de Física, Fasc., 8	Portugal	53
Gazeta de Matemática, n.º 37-38	Portugal	51
Gil Vicente, n.os 11-12, 1948	Portugal	1:2:3.7:8
Houille Blanche (La), n. 6, 1948	França	626:621.3
Indústria Portuguesa, n.os 248 e 249	Portugal	62/69
Informaciones Iram, n.º 9, 1948	Argentina	389.6
Ingenieria (La), n.º 886	Argentina	62
Máquinas e Metais, n.º 37	Portugal	621.9/546.3
Medicina, n.º 64	Portugal	61
Ossature Metalique, n.º 1, 1949	Bélgica	624.014
Plastics Bulletin, n.º 41	E. U. A.	679.5
Revista de Artilharia, n.os 281 a 282	Portugal	623
Rivista del Catasto e dei Servizi Tecnici Erariali, n.º 1, 1948	Itália	624/627
Revista Electrotécnica, n.º 12, 1948	Argentina	621.3
Revista da Faculdade de Engenharia do Porto, n.os 1 a 3, 1948	Portugal	62
Revista das Obras Públicas, n.º 2805	Espanha	624/628
Revista da Ordem dos Engenheiros, n.º 59	Portugal	62
Seara Nova, n.os 1097, 1097 e 1100	Portugal	3:7:81(07)
Suissa Tecnica, n.º 3, 1948	Suíça	62/69

FICHEIRO

Sob esta rubrica, figuram só as fichas dos artigos que nos mereceram maior atenção e estão contidos nas revistas recebidas nesta Biblioteca.

Hidrodinâmica

C. D. 532.5.032

Sur l'ecoulement d'un fluide visqueux incompressible entre deux plaques parallèles indéfinies — *J. Kampé de Fériet.*

Houille Blanche, 11-12-948, vol. 3, n.º 6, págs. 509/517.

Turbinas

C. D. 621.001

Teoria geral das turbinas a gás — Ciclos térmicos — *Paulo Barbosa.*

Revista da Faculdade de Engenharia, 1948, vol. 14, págs. 1/62.

C. D. 621.1

Provas de turbina a gás de 2000 H. P. — *T. Putz.*

Engenheiro Westinghouse, 2-949, vol. 5, n.º 1, pág. 7/10.

Standard Electrica

ASSOCIADA

DA

INTERNATIONAL TELEPHONE AND TELEGRAPH CORP

- EQUIPAMENTOS PARA TODOS OS GÉNEROS DE COMUNICAÇÕES ELÉCTRICAS por rádio e por circuitos metálicos.
- EQUIPAMENTOS DE TODAS AS POTÊNCIAS PARA RADIODIFUSÃO E TELEVISAO.
- GRANDES E PEQUENAS CENTRAIS TELEFONICAS, manuais e automáticas.
- TODO O GÉNERO DE APARELHAGEM MANUAL E AUTOMÁTICA para instalações telefónicas e telegráficas.
- FORNOS ELÉCTRICOS desde pequenas potências, com aquecimento por correntes de radiofreqüência.
- SISTEMAS PATENTEADOS, DE ANTENAS de alta eficiência.
- CABOS DE TODOS OS TIPOS para comunicações em tôdas as freqüências e para transporte de energia.

Telefone 2 3111/2/3 Rua Augusta, 27 LISBOA

Electrotecnia — Condutores

C. D. 546.26-1:621.3

Algumas aplicaciones del grafito sintético en la electrotecnia — *Pablo Lencona.*
Alfa, 11-12-948, vol. 5, n.º 46, págs. 33/36.

Transformação

C. D. 621.314.65

Rectificadores a vapor de mercúrio e a atmosfera de gás raro, com tina metalica sem bombas de vácuo.
Suíça Técnica, 1948, n.º 3, págs. 41/44.

C. D. 621.314

Progressos do transformador de alta tensão — *F. Snyder.*
Engenheiro Westinghouse, 2-949, vol. 5, n.º 1, págs. 14/19.

Distribuição e regulação

C. D. 621.316.57 (083.7)

Swedish standard specifications for high-voltage circuit-breakers Sen 31-1945 — *I. Lindström.*
Asea Journal, 6-8-948, vol. 21, n.os 6-8, págs. 63/71.

Medidas Eléctricas

C. D. 621.317

Development of first new watthour meter in 50 years announced.
Plastics Bulletin, 1948, vol. 10, n.º 41, pág. 161.

C. D. 621.317.33

Accuracy of impedance measurements — *B. Secker.*
Electrical Communication, 3-948, vol. 25, n.º 1, págs. 74/83.

Tracção eléctrica

C. D. 621.33 (81)

A electrificação das estradas de ferro do Brasil — *R. Longwell.*
Engenheiro Westinghouse, 2-1949, vol. 5, n.º 1, págs. 22 25.

Telecomunicações

C. D. 621.394.64

Very high-frequency trio de oscillator and amplifier circuits — *Gerard Lehman.*
Electrical Communication, 3-948, vol. 25, n.º 1 págs. 50/61.

Construções metálicas

C. D. 624.94

Steel tubular construction for exhibition buildings in Italy.
Bulding Digest, 12-948, vol. 8, n.º 12, pág. 445.

Pontes

C. D. 624.4

Construction des ponts métalliques — *J. Lourtie.*
Ossature Metallique, 1-949, vol. 14, n.º 1, págs. 20/31.

Aquecimento

C. D. 628.81

New type of sun-heated house in U. S. A.
Building Digest, 12-948, vol. 8, n.º 12, pág. 445.

Quimica-Industrial

C. D. 66

Orientacion tecnica de la industria quimica — *Carlos Ariban.*
Dyna, 12-948, vol. 23, n.º 12, págs. 563/572.

Publicam secções de bibliografia técnica as seguintes revistas recebidas na nossa Biblioteca:

CIENCIA Y TECNICA
REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS
DYNA
CEMENTO Y HORMIGON
REVISTA DA ORDEM DOS ENGENHEIROS
ALFA